OHM电子电气入门丛书

电子电气读本系列 2

图解

电子学入门

〔日〕 OHM社 编



科学出版社 OHM社

OHM 电子电气入门丛书
电子电气读本系列 2

图解

电子学入门

〔日〕 OHM 社 编
薛培鼎 王友功 崔东印 译
薛培鼎 校

科学出版社 OHM 社
2001 北京

图字：01－1999－2502 号

Original Japanese edition
Etoki Denshigaku Nyuumon Hayawakari (Kaitei 3-han)
by Tsutomu Fukuda, Takashi Iochi and Hiroshi Iwamoto
Copyright © 1996 by Ohmsha, Ltd.
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese language edition co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press
Copyright © 1999
All rights reserved.
本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

絵とき
電子学入門早わかり(改訂3版)
オーム社 編　オーム社　1996 改訂3版第1刷

图书在版编目(CIP)数据

图解电子学入门／〔日〕OHM 社编；薛培鼎等译．
－北京：科学出版社，2001
ISBN　7－03－008911－1
Ⅰ. 图…　Ⅱ. ①日…②薛…　Ⅲ. 电子学－图解
Ⅳ. TN01－64
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 55001 号

科学出版社　OHM 社　出版
北京东黄城根北街 16 号　邮政编码：100717
北京东方科龙电脑图文制作有限公司　制作
中国科学院印刷厂　印刷

科学出版社发行　各地新华书店经销

2001 年 2 月第　一　版　　开本：A5
2001 年 2 月第一次印刷　　印张：10 1/4
印数：1－5 000　　字数：237 000

定　价：25.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换（科印））

前　言

电子学与我们的生活有着极为密切的关系。举例来说，听广播用的收音机、看电视用的电视机，以及我们日常工作、生活中经常使用的计算器、电子手表、摄像机、微型计算机、微波炉、家用空调等都是电子设备；在光纤通信、宇宙通信、机器人、自动化工厂等通信和生产领域，到处都使用着电子设备；医疗领域中，借助电子设备进行诊断、治疗也已越来越普遍。而且，这些设备中所使用的电子元器件，正在被不断开发出的优质新产品所取代。电子学与我们的生活如此密不可分，因而，对于准备学习电子学的人或工程技术人员来说，掌握电子学基础知识就显得越来越重要。

本书就是根据这种现状，为了给初学者架设一座跨进电子学领域的桥梁而规划的。书中既讲述电子学的基础知识，又介绍这些知识的应用。编写过程中，作者特意构思设计了丰富多彩的插图，力图用图解这一生动形式使读者学习起来更加轻松愉快。作者相信，本书对于已经活跃在各个领域的工程技术人员也是非常有用的。尽管从学习最新技术的角度看，再从头学习电子学基础知识似乎是本末倒置，但实际上，可能反而是最好的捷径。

本书的第一版发表于 1982 年《新电工》杂志的增刊上，其后，为适应电子技术的发展，于 1991 年又出版了修订版（第二版），并成为受读者欢迎的一本书。

这次，在进行第二次修订的时候，对第 6 章“音响设备及图像通信”和第 7 章“多媒体”进行了全面修订，并根据学习信息技术的需要，新增加了“3 级信息技术基础等级考试教程”一章。

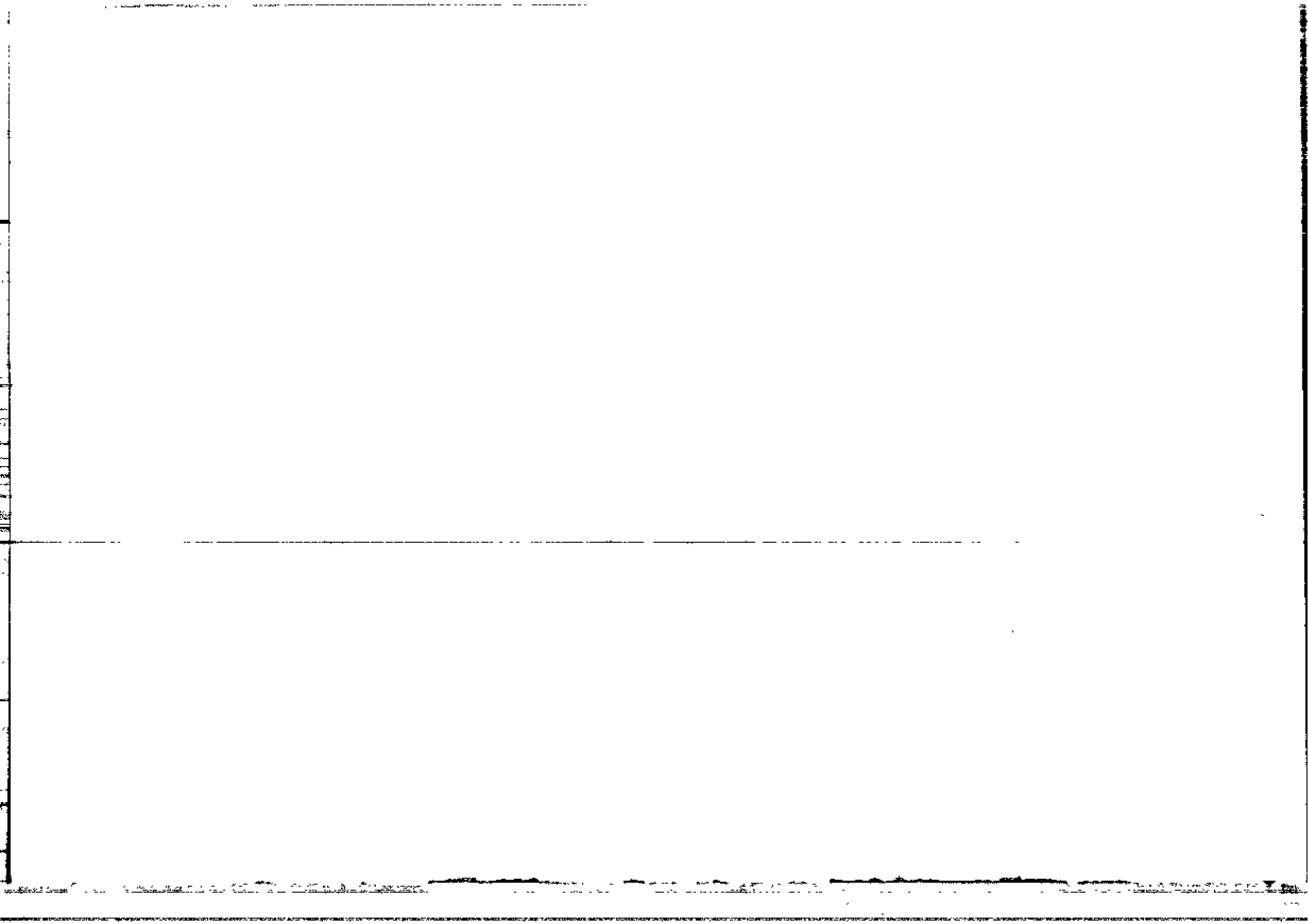
本书内容丰富，既具知识性，又有趣味性，期待着读者能从中汲取尽可能多的知识和技术。

欧姆社新电工编辑部

本书的第 1 章～第 7 章由“电子基础研究会”的成员执笔，他们是：

福田　务

伊落　崧和岩本　洋



目　录

前　言

图解电学发展史

1. 电子电路元件

学习指南 28
半导体 30
自由电子与空穴 32
载流子的行为 34
p-n 结 36
二极管的构造 38
各种各样的二极管 40
晶体管的结构 42
晶体管的静态特性 44
晶体管的额定参数 46
FET 的结构及工作原理 48
太阳电池、CdS、热敏电阻 50
可控硅、双向可控硅 52
集成电路的奥秘 54
电子管的原理 56

2. 电子电路基础

学习指南 60
放大的原理 62
h_{FE} 和 h_{ie} 64
放大电路的基本工作原理(1) 66
放大电路的基本工作原理(2) 68
晶体管的静态特性 70
放大倍数的计算 72
h 参数和等效电路 74
偏置电路 76
小信号放大电路 78
负反馈电路 80
功率放大的方法 82
B 类推挽放大器 84
高频放大电路 86
场效应管(FET)放大电路 88

3. 各种电子线路

学习指南 92
二极管的作用 94
稳压电源电路 96
振荡电路(1) 98
振荡电路(2) 100
多谐振荡器 102
积分电路和微分电路 104
脉冲的产生 106
整形电路 108
模拟与数字 110
逻辑电路 112
数字集成电路(IC) 114
"与"+"非"="与非"电路 116
A-D、D-A 转换器 118
运算放大器 120

4. 电子测量

学习指南 124
测量及测量误差 126
动圈式仪表 128
万用表 130
高频电流的测量 132
电子电压表 134
频率计 136
示波器 138
李萨育图 140
X-Y 记录仪 142
万用电桥 144
Q 表 146

高频功率的测量 148
传感器与温度测量 150
各种应用测量简介 152

5. 自动控制

学习指南 156
电磁继电器 158
顺序控制的原理 160
顺序控制实例 162
什么是反馈控制 164
反馈控制实例 166
求传递函数 168
增益与相位 170
波特图与矢量轨迹 172
框图与传递函数 174
顺序控制的检测装置 176
反馈控制的检测装置 178
过程控制 180
机电一体化 182
压力、流量和液位控制 184

6. 音响设备及图像通信

话筒的原理 188
喇叭的原理 190
电波的传播方式 192
单管收音机 194
无线电接收机的原理 196
调频接收机 198
立体声的使用方法 200
盒式磁带录音机原理 202
三基色 204
彩色电视 206
隔行扫描原理 208
天线与高频头 210
高清晰度电视 212
卫星通信和卫星广播 214
压缩光盘 216

7. 多媒体

多媒体究竟是什么 220
IC 卡、数据库、电子货币 222
信息高速公路 224
互联网 226
ISDN 228
个人计算机 230
个人计算机通信 232
移动通信 234
无绳电话 236
汽车电话 238
汽车导航 240
传真 242
电视会议 244
有线电视 CATV 和 VOD 246
CD－ROM 248

8. 3 级信息技术基础等级考试教程

学习指南 252
计算机的历史 254
计算机的应用 256
计算机的构成(1) 258
计算机的构成(2) 260
外部设备 262
数字的表达和计算(1) 264
数字的表达和计算(2) 266
数字的表达和计算(3) 268
逻辑电路基础(1) 270
逻辑电路基础(2) 272
逻辑电路基础(3) 274
编程步骤 276
流程图基础 278
直线型流程图 280
分支型流程图 282
循环型流程图 284
四则运算程序 286
顺序执行型 BASIC 编程(1) 288
顺序执行型 BASIC 编程(2) 290
READ－DATA 语句(1) 292
READ－DATA 语句(2) 294
GOTO 语句 296
ON－GOTO 语句 298
IF－THEN 语句 300
FOR－NEXT 语句(1) 302
FOR－NEXT 语句(2) 304
数组 306
综合问题 308

A History of Electrical technology

图解 电学发展史

1 公元前的琥珀和磁石

公元前600年
发现静电
泰勒斯

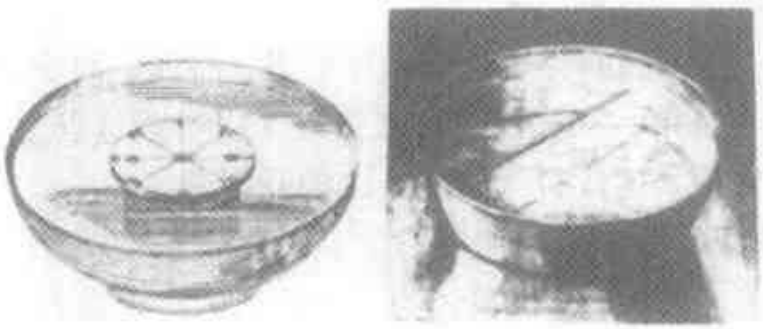
希腊七贤中有一位名叫泰勒斯的哲学家。公元前600年前后，泰勒斯看到当时的希腊人用摩擦琥珀吸引羽毛、用磁铁矿石吸引铁片，曾对其原因进行过一番思考。据说他的解释是："万物皆有灵。磁吸铁，故磁有灵。"这里所说的"磁"就是磁铁矿石。

希腊人把琥珀叫做"电"(elektron)。他们从波罗的海沿岸进口琥珀，用来制作手镯和首饰。当时的宝石商们也知道摩擦琥珀能吸引羽毛，不过他们认为那是神灵或者魔力的作用。

指南针的应用
中国

在东方，中国人早在公元前2500年前后就已经具有天然磁石的知识。据《吕氏春秋》一书记载，中国在公元前1000年前后就已经有了指南针，他们在古代就已经用磁针来辨别方向了。

2 磁、电和伏打电池



浮在水面上的磁针

14世纪
发明
航海罗盘

通常所说的摩擦起电，在公元前人们只知道它是一种现象。很长时间里，关于这一现象的认识并没有进展。

而罗盘则在13世纪初就已经在航海中得到了应用。那时的罗盘是把加工成针形的磁铁矿石放在秸秆里，使之能浮在水面上。到了14世纪初，又制成了用绳子把磁针吊起来的航海罗盘。

这种罗盘在1492年哥伦布发现美洲新大陆以及1519年麦哲伦发现环绕地球一周的航线时发挥了重要作用。

(1) 磁、静电与吉尔伯特

英国人吉尔伯特是伊丽莎白女王的御医，他在当医生的同时，也对磁进行了研究。他总结了多年来关于磁的实验成果，于1600年出了一本取名为《磁说》的书。书中指出地球本身就是一块大磁石，并且阐述了罗盘的磁倾角问题。



吉尔伯特向伊丽莎白女王展示实验

1600年 磁的研究 吉尔伯特

吉尔伯特还研究了摩擦琥珀吸引羽毛的现象，指出这种现象不仅存在于琥珀上，而且存在于硫磺、树脂、玻璃、水晶、钻石等物质。现在，人们已经知道，毛皮、绒布、陶瓷、火漆、玻璃、纸、丝绸、琥珀、金属、橡胶、硫磺、赛璐珞等是个摩擦带电物质系列。把这个系列中的两种物质互相摩擦，系列中排在前面的物质将带正电，排在后面的物质将带负电。

为了做静电力实验，吉尔伯特还设计过一种叫做贝鲁紫利姆旋转器的老式验电器。

那时候，主要的研究方法就是靠思考，而真正的研究应该以实验为基础，在提出这种主张并予以实践这点上，可以说吉尔伯特是近代科学研究方法的开创者。

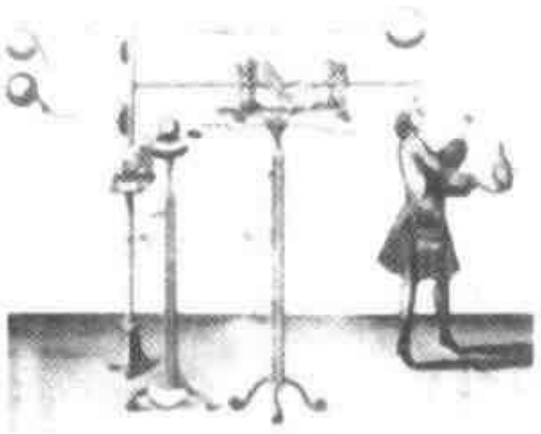
(2) 雷和静电

1748年 发明避雷针 富兰克林

在公元前的中国，打雷被认为是神的行为。说是有五位司雷电的神仙，其长者称为雷祖，雷祖之下是雷公和电

母、打雷就是雷公在天上敲大鼓，闪电就是电母用两面镜子把光射向下界。

到了亚里斯多德时代就已经比较科学了，认为雷的发生是由于大地上的水蒸气形成雷雨云，雷雨云遇到冷空气凝缩而变成雷雨，同时伴随出现强光。



莱顿瓶实验

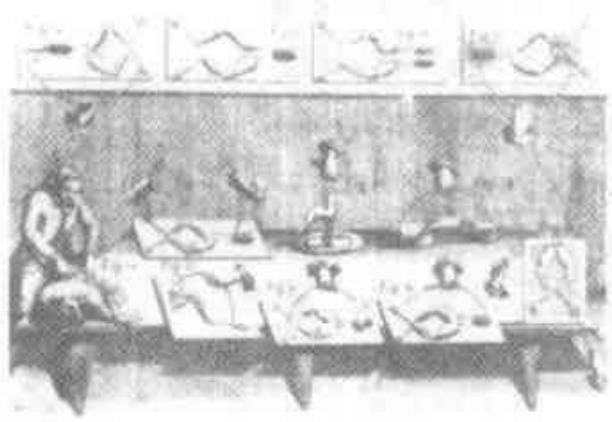
认为雷是因静电而产生的是英国人沃尔，那是亚里斯多德之后很久的1708年的事。1748年，富兰克林基于同样的认识设计了避雷针。

前面曾提到摩擦带电有正电和负电两种，给出正电和负电这两个名字的正是富兰克林(1747年)。

能不能用什么办法把这种静电收集起来？这个问题很多科学家都考虑过。1746年，莱顿大学教授缪仙布鲁克发明了一种蓄积静电的瓶子，这就是后来很有名的“莱顿瓶”。

1746年发明莱顿瓶 缪仙布鲁克

缪仙布鲁克本想像往瓶子里装水那样把电装进瓶子里，他首先在瓶子里灌上水，然后用一根金属丝把摩擦玻璃棒通到水里。就在他的手接触到瓶子和棒的一瞬间，他被重重地“电击”了一下。据说他曾这样说过：“就算是国王下命令，我也不想再做这种可怕的实验了”。



伽伐尼的青蛙实验

富兰克林联想到往莱顿瓶里蓄电的事，于1752年6月做了一个把风筝放到雷雨云里去的实验。其结果，发现了雷雨云有时带正电有时带负电的现象。这个风筝实验很有名，许多科学家都很感兴趣，也跟着做。1753年7月，俄罗斯科学家利赫曼在实验中不幸遭电击而身亡。

电击曾被用于治疗疾病，1700 年以后，电击疗法一度很流行。意大利波洛尼亚大学教授伽伐尼在解剖青蛙时发现，当手术刀一碰到青蛙腿的肌肉，肌肉就发生痉挛。当时正是电击疗法盛行的时代，于是他就想，青蛙肌肉痉挛的原因就是电吧？此后，他给这种电起了个“动物电”的名字，并于 1791 年以同一名称为题发表了论文。

1800 年发明电池伏打

意大利帕比亚大学教授伏打在重复伽伐尼实验的过程中，对“动物电”产生了疑问，经过进一步研究，于 1800 年发表了题为“论不同导电物质接触起电问题”的论文，阐明了两种不同金属接触带电的现象。通过用各种金属进行实验，他证明了锌、铅、锡、铁、铜、银、金、石墨是个金属电压系列，当这个系列中的两种金属相互接触时，系列中排在前面的金属带正电，而后面的金属带负电。他把铜和锌作为两个电极置于稀硫酸中，从而发明了伏打电池。电压的单位“伏特”就是以他的名字命名的。



伏打在拿破仑面前做实验

19 世纪初，法国继法兰西革命后进入拿破仑时代。拿破仑从意大利归来，在 1801 年把伏打召到巴黎，让他做电学实验，伏打也因此而获得了拿破仑授予的金牌和莱吉诺 - 多诺尔勋章。

(3) 伏打电池的利用与电磁学的发展

伏打电池发明之后，各国利用这种电池进行了各种各样的实验和研究。德国进行了电解水的研究，英国进行了从氯化钾中提取钾、从氯化钠中提取钠的研究，英国化学家戴维把 2000 个伏打电池连在一起，进行了电弧放电实验。戴维的实验是在正负电极上安装上木炭，通过调整电极间距离使之产生放电而发出强光，这就是电用于照明的开始。

1820 年发现电流产生磁场奥斯特

1820 年，丹麦哥本哈根大学教授奥斯特在一篇论文中公布了他的一个发现：在连接着伏打电池的导线旁边放上

一个磁针，磁针马上就发生偏转。

俄罗斯的斯林格读了这篇论文，他把线圈和磁针组合在一起，发明了电报机（1831 年），这可说是电报的开始。



斯林格的单针电报机

其后，法国的安培发现了关于电流周围磁场方向问题的安培定律（1820 年），法拉第发现了划时代的电磁感应现象（1831 年），电磁学得到了飞速发展。



法拉第

另一方面，关于电路的研究也在进步。欧姆发现了关于电阻性质的欧姆定律（1826 年），基尔霍夫发现了关于电路网络的定律（1849 年）等，从而确立了电工学。

1826 年
发现欧姆定律
欧姆

1831 年
发现电磁感应现象
法拉第

3 有线通信的历史

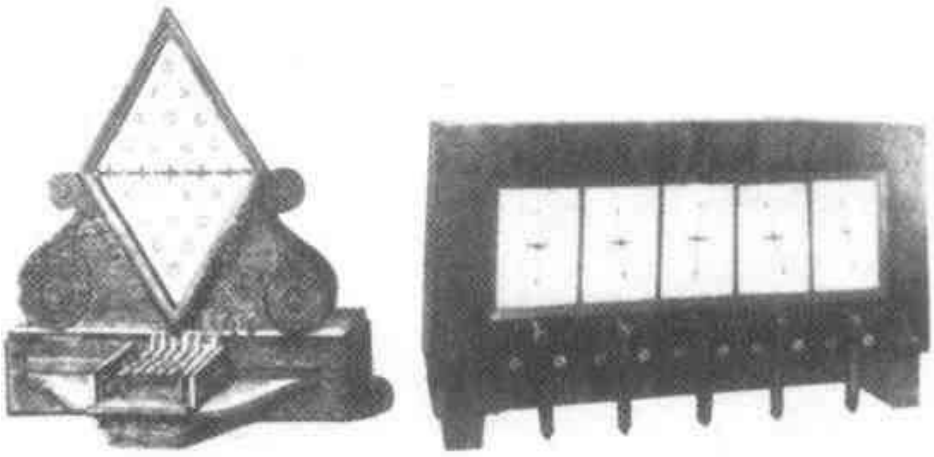
有人说科学技术是由于军事方面的需要而发展起来的，这种说法有一定的历史事实根据。

英国害怕拿破仑进攻，曾用桁架式通信机向主体部队通报法国军队的动向。瑞典、德意志、俄罗斯等国家也以军事为目的，架设了由这类通信机组成的通信网，据说都曾投入了庞大的预算。

将这种通信机改造成电通信方式的构想大概就是有线通信的开始。

(1) 有线通信的原理

除了前面所讲到的斯林格所发明的电磁式电报机以外，还有德国的简梅林格发明的电化学式电报机、高斯和韦伯（德国）的电报机、库克和惠斯登（英国）的 5 针式电报机



库克和惠斯登的5针式电报机

等。电报机的形式也是各种各样的，有音响式、印刷式、指针式、钟铃式等。

1837年
发明电报机
库克与惠斯登

其中，库克和惠斯登的5针式电报机最为有名。1837年，这种电报机曾通过架设在伦敦与西德雷顿之间长达20公里的5根电线而投入实际使用。



莫尔斯电报机

(2) 莫尔斯电报机

1837年，莫尔斯电报机在美国研制成功，发明人就是以莫尔斯电码而闻名的莫尔斯。莫尔斯电码是一种以点、划来编码的信号。

莫尔斯本来想当一名画家，他为此在伦敦留学。1815年，他在回美国的船上听了波士顿大学教授杰克逊关于电报的一席谈话，萌发了莫尔斯电码和电报机的构想。为了铺设电报线，莫尔斯成立了电磁一电报公司，并于1846年在纽约一波士顿、费城一匹兹堡、多伦多一布法罗一纽约之间开通了电报业务。

1837年
发明莫尔斯
电报机
莫尔斯

莫尔斯的事业获得了极大成功，于是就在美国各地创办电报公司，电报业务逐渐扩大起来。

1846年，莫尔斯电报机装上了音响收报机，使用也更为方便。

1876年
发明电话
贝尔和格雷

(3) 电话和交换机

1876年2月14日，美国的两位发明家贝尔和格雷分别

递交了电话机专利的申请，贝尔的申请书比格雷的申请书早 2 个小时到达，因而贝尔得到了专利权。

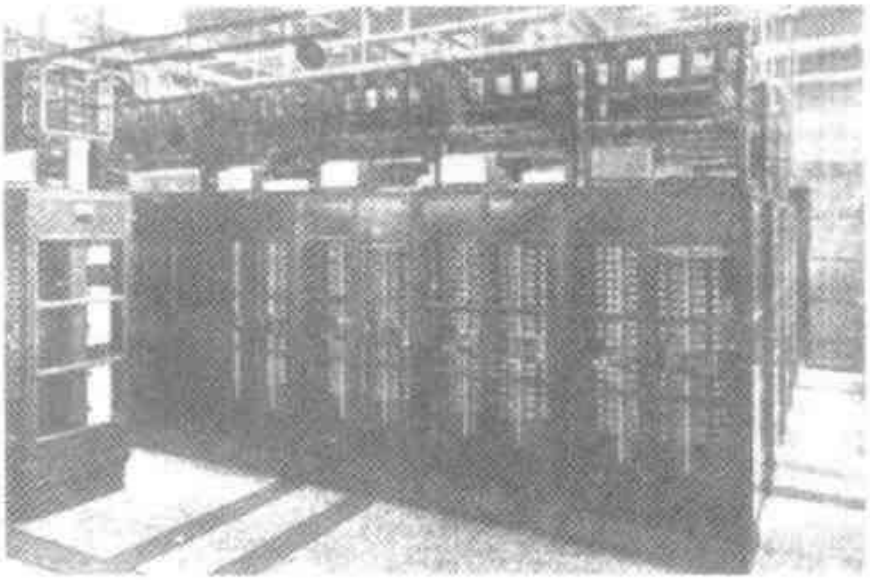
1878 年，贝尔成立了电话公司，制造电话机，全力发展电话事业。

从发展电话业务开始，交换机就担负着重要任务。1877 年前后的交换机称为传票式交换机，话务员收到通话请求得把传票交给另一个话务员。

其后，经过反复改进，开发出了块图式交换机，进而又开发出了能自动进行交换的方式(1879 年)。

1891 年发明自动交换机 史端乔

1891 年，史端乔式自动交换机告成。至此，自动交换的愿望就算实现了。研究仍在继续，又经过了几个阶段才达到了现在的电子交换机。



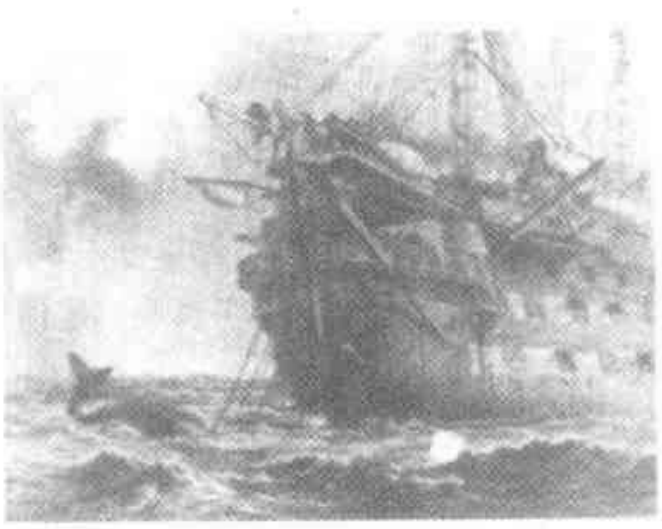
史端乔式自动交换机

(4) 海底通信电缆

陆上通信网日渐完备，人们开始考虑在海底敷设通信电缆来实现跨海国家之间的通信。1840 年前后，惠斯登就已经考虑到了海底电缆的问题。

1845 年敷设海底电缆 英国

海底电缆有很多课题需要解决，电线的机械强度、绝缘、敷设方法等都与陆上电缆不同。



亚加米依号敷设电缆船

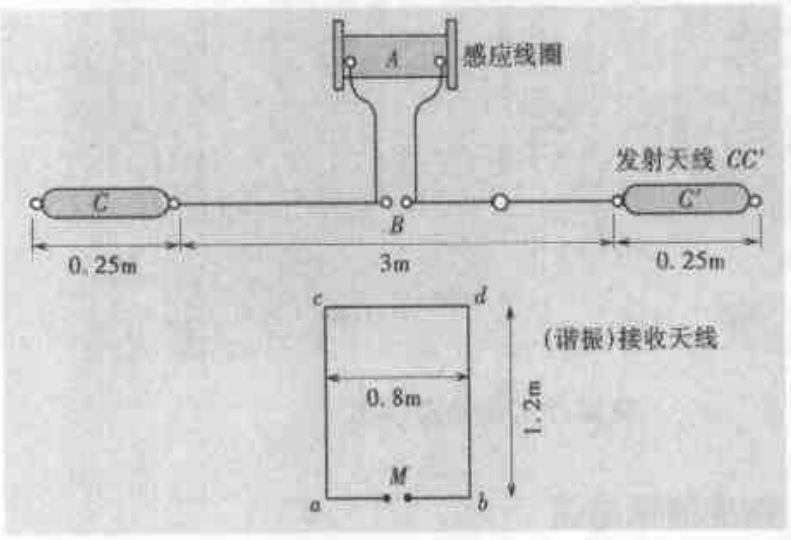
1845 年，英吉利海峡海底电报公司成立，开始了从英国到加拿大并跨过多佛尔海峡到达法国的海底电缆敷设工程。

海底电缆敷设中碰到了电缆断裂等大难题，但敷设海底电缆是时代的要求，各国都为此投入了力量。

1851 年，最早的加来—多佛尔海底电缆敷设完毕，成功地实现了通信。以此为契机，欧洲周边和美洲东部周边也敷设了许多电缆。

现在，世界上的大海里遍布着电缆，供通信使用。

4 无线通信的历史



赫兹的电磁波传播实验

世界上任何地区的信息都能显现在电视机上，这种方便是电波带给我们的。

最早的电波实验是德国的赫兹在 1888 年进行的。通过实验，赫兹弄清了电波和光一样，具有直线传播、反射和折射现象。

频率的单位 Hz 就是来自他的名字。

(1) 马可尼的无线电装置

曾经在杂志上读过赫兹实验的意大利人马可尼，在



马可尼和他的无线电装置

1895 年研制出了最早的无线电装置，利用这一装置在大约 3 公里远的距离上进行了莫尔斯电码通信实验。他想到了要把无线通信企业化，就成立了一个无线电报与信号公司。

1899 年，跨越多佛尔海峡的通信得以成功，1901 年又成功地在距离英国 2700 公里的纽芬兰收到了莫尔斯信号。

尽管马可尼在无线通信领域获得了诸多成功，但出于与海底电缆公司的利益相冲突，他想在纽芬兰设立无线电报局的事遭到了反对，马可尼的反对者还不在少数。

1895 年
发明无线电报
高频应用
马可尼

(2) 高频波的产生

要实现无线通信，首先得产生稳定的高频电磁波。

达德尔采用由线圈和电容器构成的电路产生出了高频信号，但频率还不到 50kHz，电流也只有 2～3A。

1903 年
高频应用
包鲁森

1903 年，荷兰的包鲁森利用酒精蒸气电弧放电产生出了 1MHz 的高频波，彼得森又对其进行了改进，制成了输出功率达到 1kW 的装置。

其后，德国设计出了机械式高频发生装置，美国的斯特莱和费森丁、德国的哥德施米特等人开发出了用高频交流机产生高频波的方法等，很多科学家和工程师都曾致力于高频波发生器的研究。

1906 年
发明
无线电话
亚历山大逊

(3) 无线电话

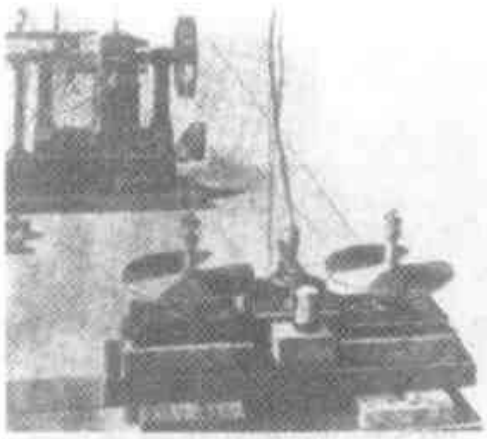
如果传送的不是莫尔斯信号而是人的语言，那就需要有运载语音信号的载波。载波必须是高频波。

1906 年，美国通用电气(GE)公司的亚历山大逊制成了 80kHz 的高频信号发生装置，首次成功地进行了无线电话实验。

1913 年
发明外差式
接收机
费森丁

用无线电话传送语音，并且要收听它，这就需要有发送所需的高频信号发生装置和接收所需的检波器。费森丁设计了一种外差式接收装置，并于 1913 年试验成功。

达德尔设计出了以包鲁森电弧发送器为发送装置、以电解检波器为接收装置的受话器方式。在当时，由于都是采用火花振荡器，所以噪音很大。实验阶段可说是成功了，但离实用化还很远。


达德尔的高频发生装置

要想使产生的电波稳定、接收到的噪音小，还得等待电子管的出现。

(4) 二极管和三极管

1883年，爱迪生发现从电灯泡的热丝上飞溅出来的电子把灯泡的一部分都熏黑了，这种现象被称为爱迪生效应。

1904年发明二极管 弗莱明

1904年，弗莱明从爱迪生效应得到启发，造出了二极管，用它来进行检波。


D. 福雷斯特和三极管

1907年发明三极管 福雷斯特

1907年，美国的D. 福雷斯特在二极管的阳极和阴极之间又加了一个叫做栅极的电极，发明了三极管。

这种三极管既可用于放大信号电压，也可配以适当的反馈电路产生稳定的高频信号，可说是一个划时代的电路元件。

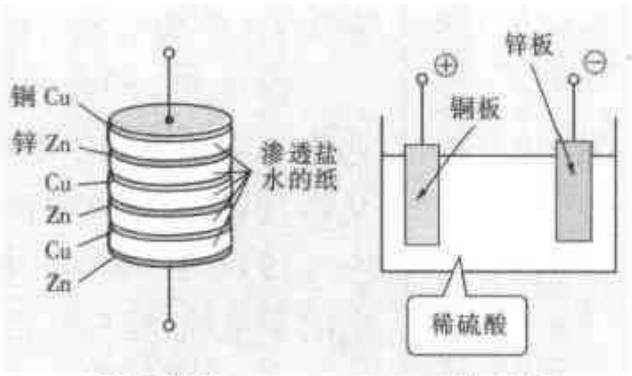
三极管经过进一步改进，能够产生短波、超短波等高频信号。此外，三极管具有能控制电子流的机能，随后出现的示波管和示波器与此有密切的关系。

5 电池的历史

1790年，伽伐尼根据解剖青蛙实验提出了“动物电”，以此为开端，伏打发现了两种金属接触就有电产生的规律，可以说这就是电池的起源。

1799年发明伏打电池 伏打

1799年，伏打在铜和锌之间夹入一层浸透盐水的纸，再把它们一层一层地叠起来，制成了“伏打电堆”。“电堆”的意思是指把许多单个电池单元高高地堆在一起。



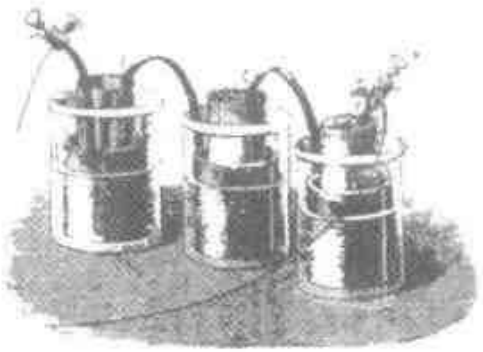
伏打电堆　　伏打电池

(1) 一次电池

一次放完电后不能再用的电池称为一次电池。伏打对伏打电堆做了改进，制成了伏打电池。

1836年开发出丹尼尔电池 丹尼尔

1836年，英国人丹尼尔在陶瓷桶里放入阳极和氧化剂，制成了丹尼尔电池。与伏打电池相比，丹尼尔电池能长时间提供电流。

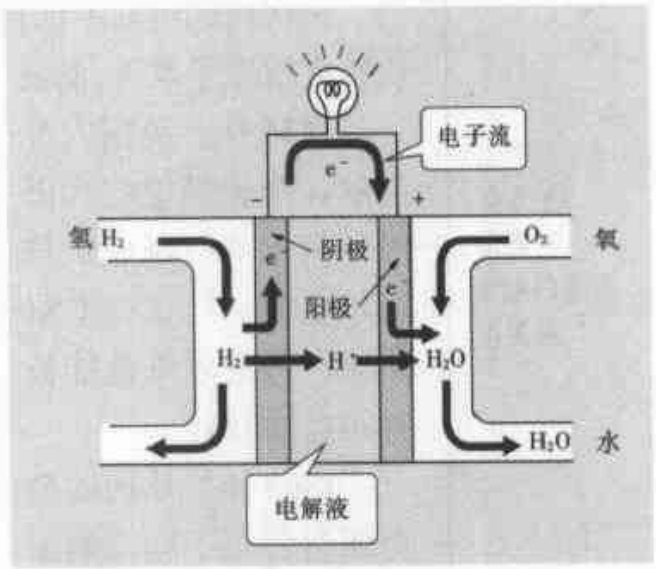

丹尼尔电池

1868年，法国的勒克朗谢公布了勒克朗谢电池，1885年（明治18年）日本的尾井先藏发明了尾井干电池。尾井干电池是一种把电解液吸附在海绵里的特殊电池，具有搬运方便的特点。

1917年，法国的费里发明了空气电池，1940年，美国的鲁宾发明了水银电池。

(2) 二次电池

放完电还可以充电再用的电池称为二次电池。1859



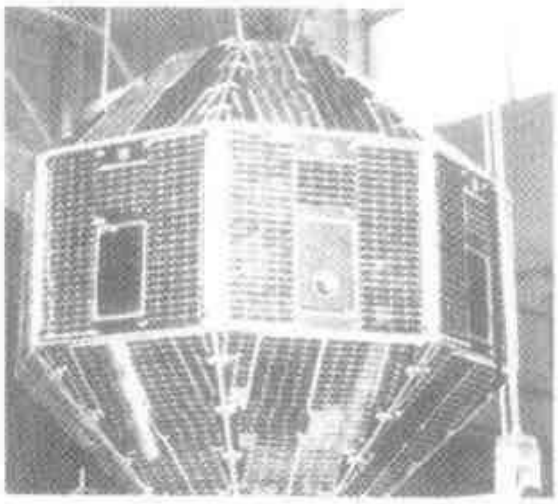
燃料电池的构造

1954 年
发明
太阳能电池
夏品

(4) 太阳能电池

1873 年，德国人西门子发明了用硒和白金线制成的光电池。现在照相机曝光表中所用的就是这种硒光电池。

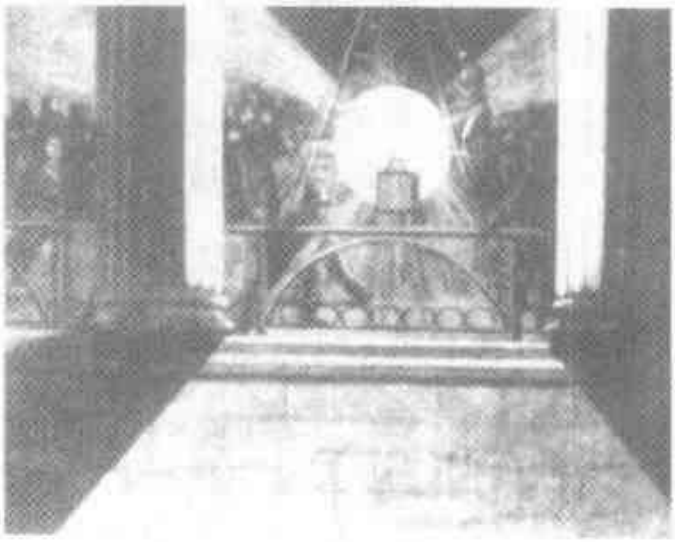
1954 年，美国的夏品发明了硅太阳能电池，它是一种当太阳光或灯光照到其 PN 结上时能产生电能的元件，广泛应用在人造卫星、太阳能汽车、钟表、台式计算器等设备里。提高这种元件转换效率的研发工作仍在进行当中。



人造卫星上的太阳能电池

6 照明的历史

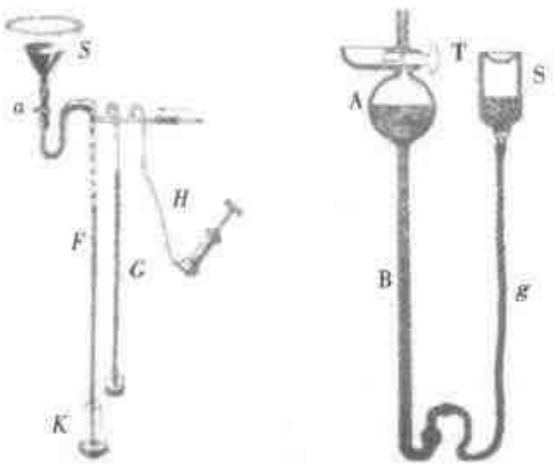
18 世纪 60 年代从英国兴起的产业革命使工厂进入了连续加工、批量生产的时代，夜间照明成了重要问题。



伦敦的探照灯(1848 年)

1815 年
发明电弧灯
戴维

前面已经讲过，英国人戴维 1815 年曾做过用 2000 个伏打电池产生电弧的有名实验。



施普林格真空泵

(1) 白炽灯泡

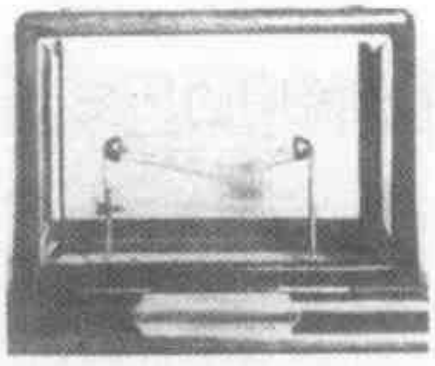
1860年，英国人斯旺把棉线渗炭后做成灯丝装入玻璃泡里，发明了炭丝灯泡。

然而，由于当时的真空技术不高，点灯时间不能过长，时间一长，灯丝就会在灯泡里氧化而烧掉。

斯旺所想到的白炽灯泡的原理是现在的白炽灯的起源。随着灯丝研究和真空技术的进步，白炽灯最终达到了实用化。从这点来说，斯旺的发明是一项大发明。

1860年 发明斯旺灯泡 斯旺

1865年，施普林格为研究真空现象而开发出水银真空泵。斯旺知道这件事后，就在1878年把玻璃泡内的真空度提高，又在灯丝上下了一番功夫。他先把棉线用硫酸处理过，然后再渗炭，最后，他公布了斯旺灯泡。斯旺的白炽灯泡曾在巴黎万国博览会上展出。


斯旺电灯

1879年 发明白炽灯泡 爱迪生

1879年，美国的爱迪生成功地把白炽灯泡的寿命延长到了40小时以上。1880年，爱迪生发现竹子是做白炽灯灯丝的优良材料，就把日本、中国、印度的竹子收集起来反复进行实验。

爱迪生把部下穆尔派到日本，在京都、八幡寻找优质竹子，若干年后，用八幡竹子制造出了灯丝。为了制造这种竹灯丝的灯泡，1882年他在伦敦和纽约成立了爱迪生电灯公司。

1886年 东京电灯公司 成立

在日本，1886年（明治19年）东京电灯公司成立，明治22年起，一般的家庭开始用上了白炽灯泡。

1910 年，美国的库利兹用钨丝做灯丝，发明了钨丝灯泡。

1913 年，美国的兰米尔在玻璃泡里充入气体以防止灯丝蒸发，发明了充气钨丝灯泡。

1925 年，日本的不破橘三发明了毛面内壁灯泡。

1931 年，日本的三浦顺一发明了双线圈钨丝灯泡。



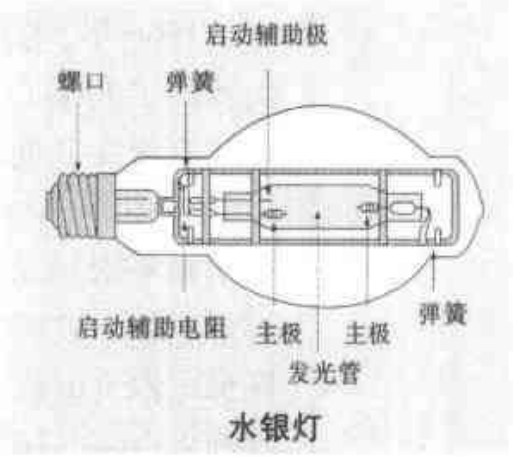
用竹子的炭化物做灯丝的爱迪生灯泡

正是由于上述的不断探索，今天我们才能享受有白炽灯照明的日常生活，想起来真可谓是漫漫长路啊。

(2) 放电管

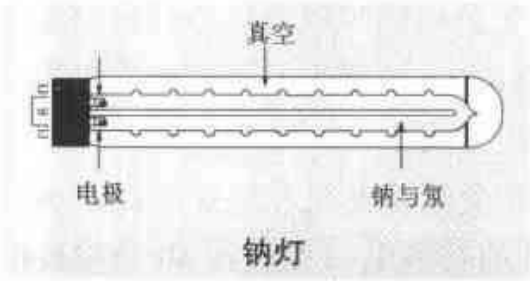
1902 年发明放电管 休伊兹特

1902 年，美国的休伊兹特在玻璃泡内装入水银蒸气，发明了弧光放电水银灯。由于这种管子当水银蒸气的气压较低时发出的光中紫外线较多，所以常作为杀菌灯使用。而当水银气压较高时，发出很强的可见光。



水银灯

现在广泛用于广场照明和道路照明的荧光水银灯所发出的光是一种混合光。混合光包括水银电弧放电的光和紫外线照到涂敷在玻



钠灯

电弧放电发出的紫外线照射涂敷在灯管内壁的不同荧光粉而发出不同颜色的光。通常，白色荧光灯用得最多。

7 电力设备的历史

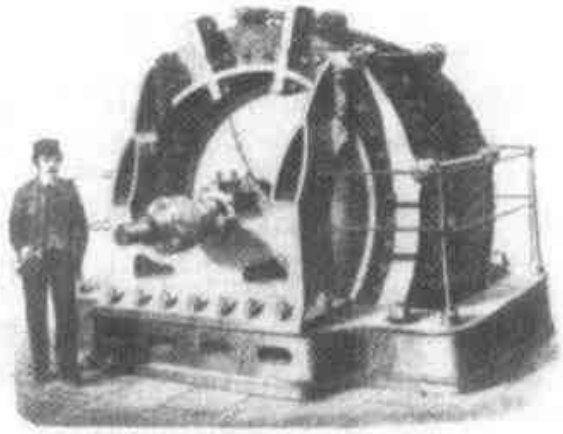
可以说，1820 年奥斯特所发现的电磁作用就是电动机的起源。

而 1831 年法拉第所发现的电磁感应就是发电机和变压器的起源。

(1) 发电机

1832 年发明发电机 毕克西

1832 年，法国人毕克西发明了手摇式直流发电机，其原理是通过转动永磁铁使磁力线发生变化而在线圈中产生感应电动势，并把这种电动势以直流电压形式输出。



二相式戈登巨型发电机

1866 年，德国的西门子发明了自激式直流发电机。

1869 年，比利时的格莱姆制成了环形电枢，发明了环形电枢发电机。这种发电机是用水力来转动发电机转子的，经过反复改进，于 1874 年得到了 3.2kW 的输出功率。

1882 年，美国的戈登制造出了输出功率达 447kW、高 3 米、重 22 吨的二相式巨型发电机。

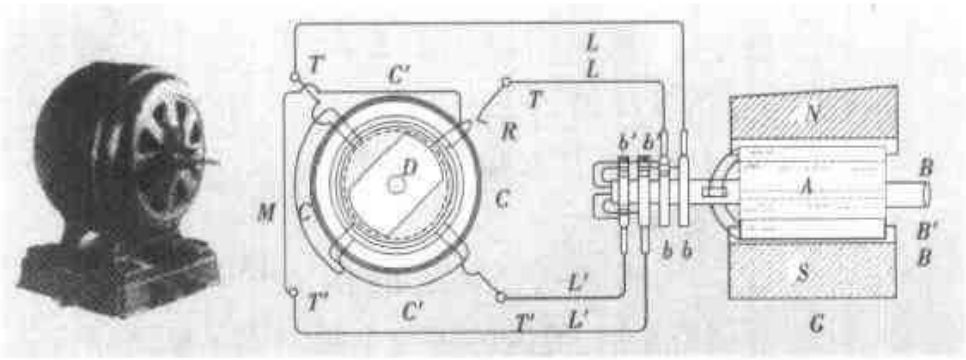
美国的特斯拉在爱迪生公司的时候就决心开发交流电机，由于爱迪生坚持只搞直流方式，就把二相交流发电机和电动机的专利权卖给了西屋公司。

1896 年交流输电开始 特斯拉

1896 年，特斯拉的二相交流发电机在尼亚加拉发电厂开始营运，3750kW、5000V 的交流电一直送到 40 公里外的

布法罗市。

1889 年，西屋公司在俄勒冈州建设了发电厂，1892 年成功地将 15 000 伏电压送到了皮茨菲尔德。



特斯拉的二相发电机和电动机(左边图是 1888 年的特斯拉感应电动机)



西屋公司的感应电动机(1897 年)

(2) 电动机

1834 年，俄罗斯的雅可比试制出了由电磁铁构成的直流电动机。1838 年，这种电动机曾开动了一艘船，电动机电源用了 320 个电池。此外，美国的达文波特和英国的戴比特逊也造出了直流电动机(1836 年)，用作印刷机的动力设备。这些电动机都采用电池作为电源，所以都未能普及。

1887 年，前面所讲过的特斯拉二相电动机作为实用化感应电动机的发展计划开始启动。

1834 年发明电动机 雅可比

1897 年，西屋公司制成了感应电动机，设立专业公司致力于电动机的普及。

(3) 变压器

发电端向外输送交流电的时候，要先把电压升高，到了用电端，又得把送来的交流电压降低。因此，变压器是必不可少的。

1831 年，法拉第发现磁可以变成电，这就是变压器诞生的基础。

1882 年，英国的吉布斯获得了“照明与动力用电配电

1882 年
发明变压器
吉布斯

方式”专利，其内容就是将变压器用于配电，当时所用的变压器是磁路开放式变压器。

西屋引进了吉布斯的变压器，经过研究，于1885 年开发出了实用的变压器。



格拉尔和吉布斯的变压器(1883 年)

此外，在此前的1884 年，英国的霍普金森制成了磁路闭合式变压器。

(4) 电力设备和三相交流技术

二相交流电是用 4 根电线输电的技术。德国的多勃罗沃尔斯基在绕组上想出了窍门，从绕组上每隔 120 °的三个地方引出抽头，得到了三相交流电。1889 年，利用这种三相交流电的旋转磁场制成了功率为 100W 的最早的三相交流电动机。

1891 年
三相交流输电
开始
多勃罗沃尔斯基

同年，多勃罗沃尔斯基又想出了三相四线式交流接线方式，并在 1891 年的法兰克福输电实验（150VA 三相变压器）中获得了圆满成功。



多里奥·多勃罗沃尔斯基

8 电子线路元件的历史

当代，是包括计算机在内的电子学繁荣昌盛的时代，其背景与电子线路元件由电子管→晶体管→集成电路的不断发展有着密切关系。

(1) 电子管

电子管是沿着二极管→三极管→四极管→五极管的顺序发明出来的。



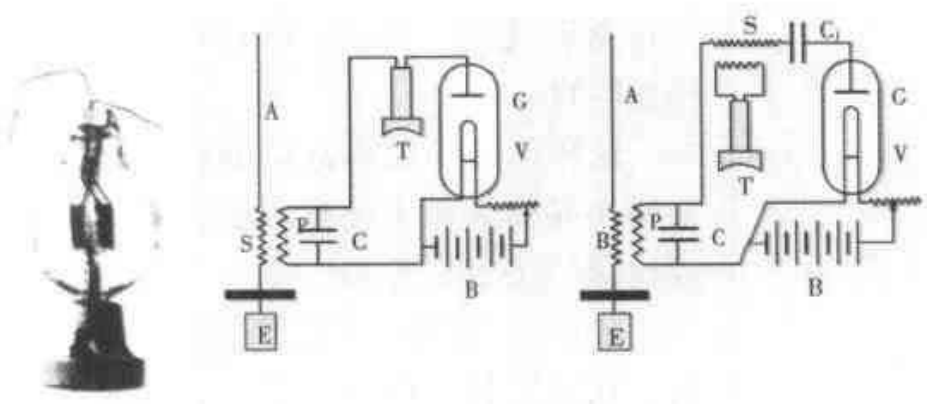
弗莱明的二极管

1904 年
发明二极管
弗莱明

二极管：前面曾经讲过，爱迪生发现了电灯灯丝发射电子的“爱迪生效应”。1904 年，英国人弗莱明受到“爱迪生效应”的启发，发明了二极管。

1907 年
发明三极管
福雷斯特

三极管：1907 年，美国的福雷斯特发明了三极管。当时，真空技术尚不成熟，三极管的制造水平也不高。但在反复改进的过程中，人们懂得了三极管具有放大作用，益发拉开了电子学进步的帷幕。



D. 福雷斯特的三极管

振荡器也从上面所讲过的马可尼火花装置发展为三极管振荡器。三极管有三个电极，阳极、阴极和设置在二者之间的控制栅极，这个控制栅极是用来控制阴极所发射的电子流的。

1915 年
发明四极管
朗德

四极管：1915 年，英国的朗德在三极管的控制栅极与阳极之间又加了一个电极，称为帘栅极，其作用是解决了三极管中流向阳极的电子流有一部分会流到控制栅极上去的问题。

1917 年
发明五极管
约布斯特

五极管：1927 年，德国的约布斯特在阳极与帘栅极之间又加了一个电极，发明了五极管。新加的电极称为抑制栅。

加入这个电极的原因是：在四极管中，电子流撞到阳极上时阳极会产生二次电子发射，抑制栅就是为抑制这种二次电子发射而设置的。

此外，1934 年美国的汤普森通过对电子管进行小型化改进，发明了适用于超短波的橡实管。

管壳不用玻璃而采用金属的 ST 管发明于 1937 年，经小型化后的 MT 管发明于 1939 年。

(2) 晶体管

1948 年发明晶体管 肖克莱、巴丁、布拉特

半导体元件大致分为晶体管和集成电路（IC）两大部分。第二次世界大战后，由于半导体技术的进步，电子学得到了令人瞩目的发展。

晶体管是美国贝尔实验室的肖克莱、巴丁、布拉特在 1948 年发明的。

这种晶体管的构造是低掺杂锗半导体表面上接有两根金属丝，称为点接触型晶体管。



硅功率晶体管

1949 年，开发出了结型晶体管，在实用化方面前进了一大步。

1956 年开发出了制作 p 型和 n 型半导体的扩散法，它是在高温下将杂质原子渗透到半导体表层的一种方法。1960 年开发出了外延生长法并制成了外延平面型晶体管。外延生长法是把硅晶体放在氢气和卤化物气体中来制造半导体的方法。

有了半导体技术的这些发展，随之就诞生了集成电路。

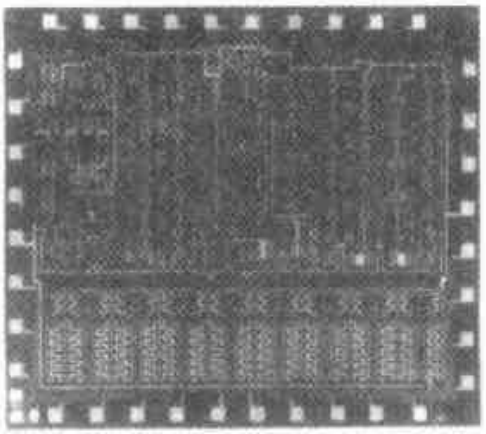
(3) 集成电路

大约在 1956 年，英国的德马就从晶体管原理预想到了集成电路的出现。

1958 年美国提出了用半导体制作全部电路元件实现集成电路化方案。

1961 年发明集成电路 得克萨斯仪器公司

1961 年，得克萨斯仪器公司开始批量生产集成电路。



高密度集成电路

集成电路并不是用一个一个的电路元件连接成的电路，而是把具有某种功能的电路“埋”在半导体晶体里的一个元件。它易于小型化和减少引线端，所以具有可靠性高的优点。

集成电路的集成度在逐年增高。元件数在 100 个以下的小规模集成电路，100～1000 个的中规模集成电路，1000～100000 个的大规模集成电路，以及 100000 个以上的超大规模集成电路，都已依次开发出来，并在各种装置中获得了广泛应用。

1 电子电路元件





随着真空技术的发展，19 世纪后半叶以来开展的对电子的研究已成为电子技术发展的基础。克鲁克斯证实存在负电荷(1874 年)，J. J. 汤姆孙证实了电子的存在(1897 年)，在此基础上，1904 年弗莱明发明了真空二极管，1906 年 D. 福雷斯特发明了真空三极管。

真空管的发明打开了电子技术发展的突破口。此后，一方面布拉特、巴丁、肖克莱等人的研究成果促成了 1951 年晶体管的出现，使电子技术的进步上了一个新台阶；另一方面，二次世界大战把科学家和工程技术人员动员了起来，其结果是加速了雷达技术和电子计算机技术的迅速发展。


真空管

1960 年美国开发了集成电路(IC)，数年后又开发出了集成度更高的大规模集成电路（LSI）和超大规模集成电路（VLSI），电子技术取得了非常迅速的发展，我们的生活也变得与电子技术密不可分了。

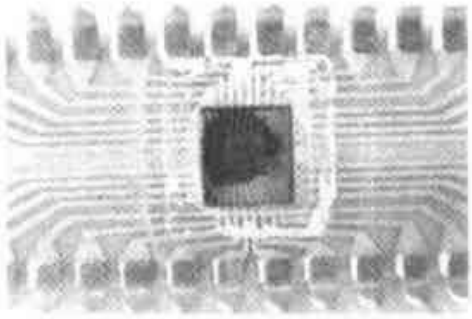
电子计算机和自动控制装置是应用电子技术的


二极管　晶体管　可控硅　传感器

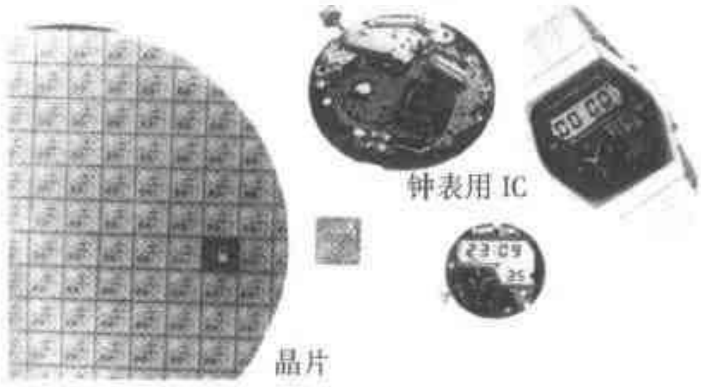
典型设备，其中广泛地使用着二极管、三极管、集成电路（IC、LSI）等元器件，这些元器件都是由半导体晶体制造的，称为半导体元件。

近年来，超小型电子电路的发展取得了惊人的进步，半导体元器件和电子电路之间的界限已经变得越来越模糊了。

本章将学习具有代表性的半导体元器件的构造、电性能及用途等，并将介绍半导体器件在电子电路中所起的作用。



单片 LSI



钟表用 IC

晶片

本章要学习的内容

半导体与导体、半导体与绝缘体有何不同？怎样才能有效利用半导体的特有性质？

各种传感器和集成电路（ICL、IC等）是现代电子技术的核心，请注意它们的构成要素和原理。



自由电子和空穴是怎样产生的？如何对其进行控制？载流子在半导体中的移动形成了电流，它是如何在半导体中移动的？

充分了解晶体管的特性及额定值，学习晶体管的基本使用方法。

p型半导体和n型半导体紧密相接即构成二极管和三极管，请注意它们的构造、特性和使用方法。



1 半导体



半导体是什么?
是导体还是绝缘体

铜、铝等金属内部具有可自由运动的电子(参见图 1)。

每立方厘米中的电子数约为 10^{23} 个，因而当在金属两端加上电压时，大量的电子很容易运动。

与金属等导体相反，绝缘体（非导电体）中的电子几乎全部被束缚在各自的原子核周围而不能移动。

云母等优良绝缘体的电阻率高达 $10^{16}\Omega \cdot m$，而一般金属的电阻率只有 $10^{-8}\Omega \cdot m$。

半导体在室温下既不是良导体，也不是优良的绝缘体，它的电阻率约在 $10^{-5} \sim 10^{3}\Omega \cdot m$ 之间。半导体的电阻率除受温度等外部因素影响之外，还因纯度、制造工艺及加工方法的不同而异。硅、锗等是制造半导体元器件的重要材料。

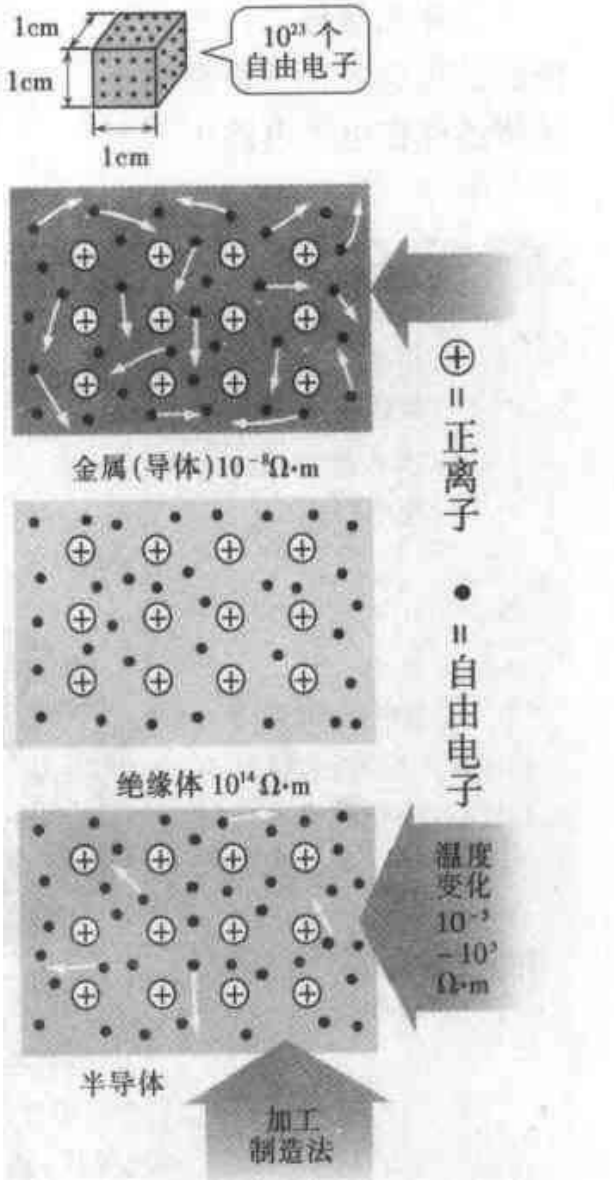


图 1 导体、绝缘体、半导体的电阻率

价电子是自由电子之源

通常，物质由许多原子组成。原子是由带正电荷的**原子核**和为使原子保持电中性而在核周围旋转的**电子**所组成的，如图 2 所示。

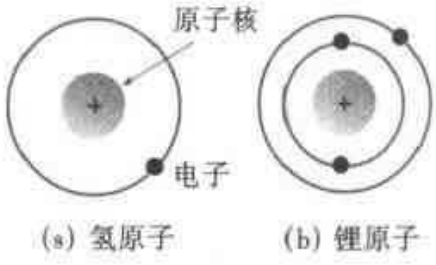


图 2　原子的结构

如图 3 所示，电子在原子核周围形成若干层**轨道**，进入各个轨道的电子数由所在轨道所决定。

其中位于最外层轨道的电子称为价**电子**，价电子数称为**原子价**。例如，氢和锂的原子为 1 价，半导体硅和锗的原子价为 4 价。

处于距原子核很近的轨道上的电子被原子核束缚得很紧，而价电子则易于脱离原子核的束缚。因而，容易成为**自由电子**。

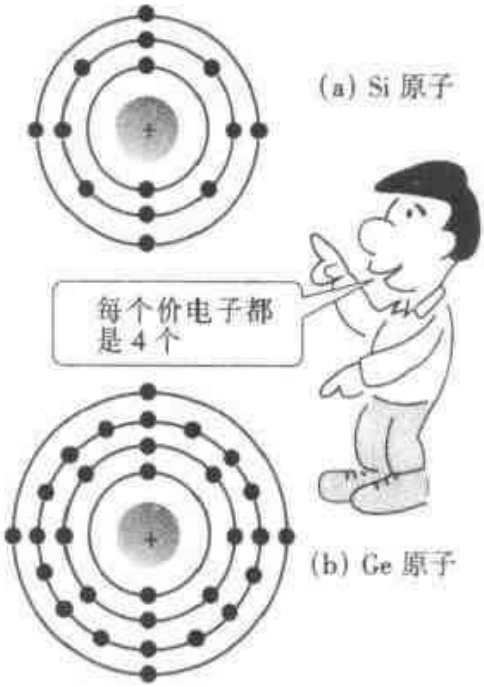


图 3　原子中的电子配置

One Point

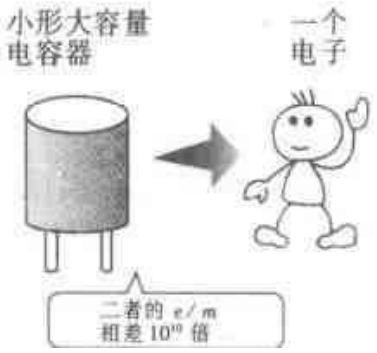
电子有多重?

无论是电线中移动的电子，还是电视机和示波器的阴极射线管中的电子流，它们都是一样的电子。电子的质量和电荷量分别为：

电子的电荷量　$e = 1.60207 \times 10^{-19}$[C]

电子的质量　$m = 9.1085 \times 10^{-31}$ [kg]

电子这东西太小了，以至于人们常常漫不经心地将它忽略掉。但是电子的荷质比 e/m ($= 1.76 \times 10^{11}$[C/kg]) 却是一个惊人的大数字，这在其它物质中是看不到的。



电容器: 1 ~ 10[C/kg]
电子: 1.76×10^{11}[C/kg]

电容器和电子荷质比的比较

2 自由电子与空穴



空穴的移动有“传染性”

硅原子的模型如图 1 所示。各原子如图 2 所示那样规则地排列成点阵，每个原子的 4 个价电子分别为相邻原子所共有。

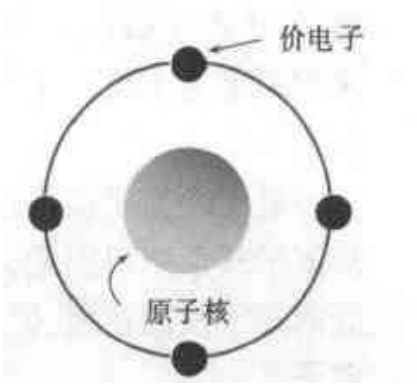


图 1　硅原子模型

如图 3 所示，当对硅晶体加热、光照或加上电场时，由于这些能量的作用，晶体中的价电子就会脱离原子核的束缚成为**自由电子**，在晶体中自由运动。

另一方面，价电子成为自由电子离开某个原子后，该原子就失去该电子所具有的负电荷，这里就形成一个具有正电荷的空位，即产生了**空穴**(hole)。

这个空穴又吸引附近的价电子，在被吸引走的价电子处又产生新的空穴，形成一种连锁反应。其结果就像是空穴也在“移动”一样。

空穴的移动也起到了传导电流的作用。

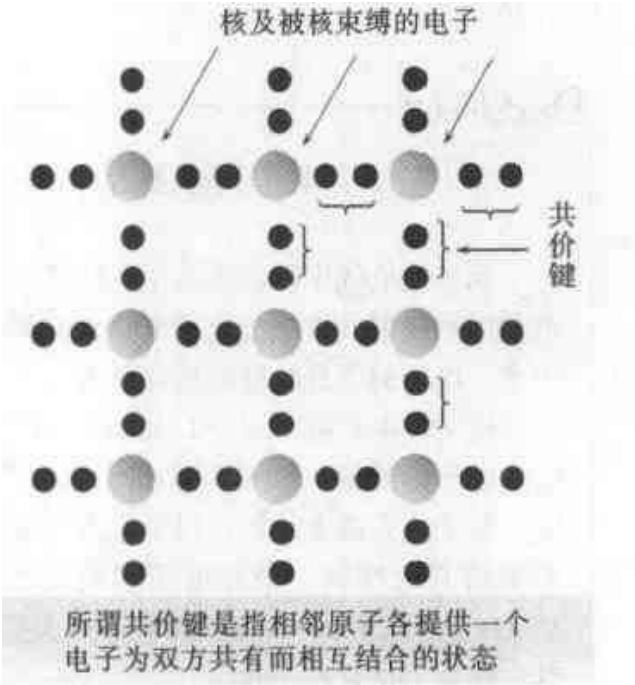


图 2　硅原子键示意图

载流子是电流之源

自由电子和空穴都是输运电荷的载体，是它们使半导体具有了导电性。因此，称它们为**载流子**(carrier)。通常所说的电流在半导体中流动，实际上就是载流子在半导体中移动。

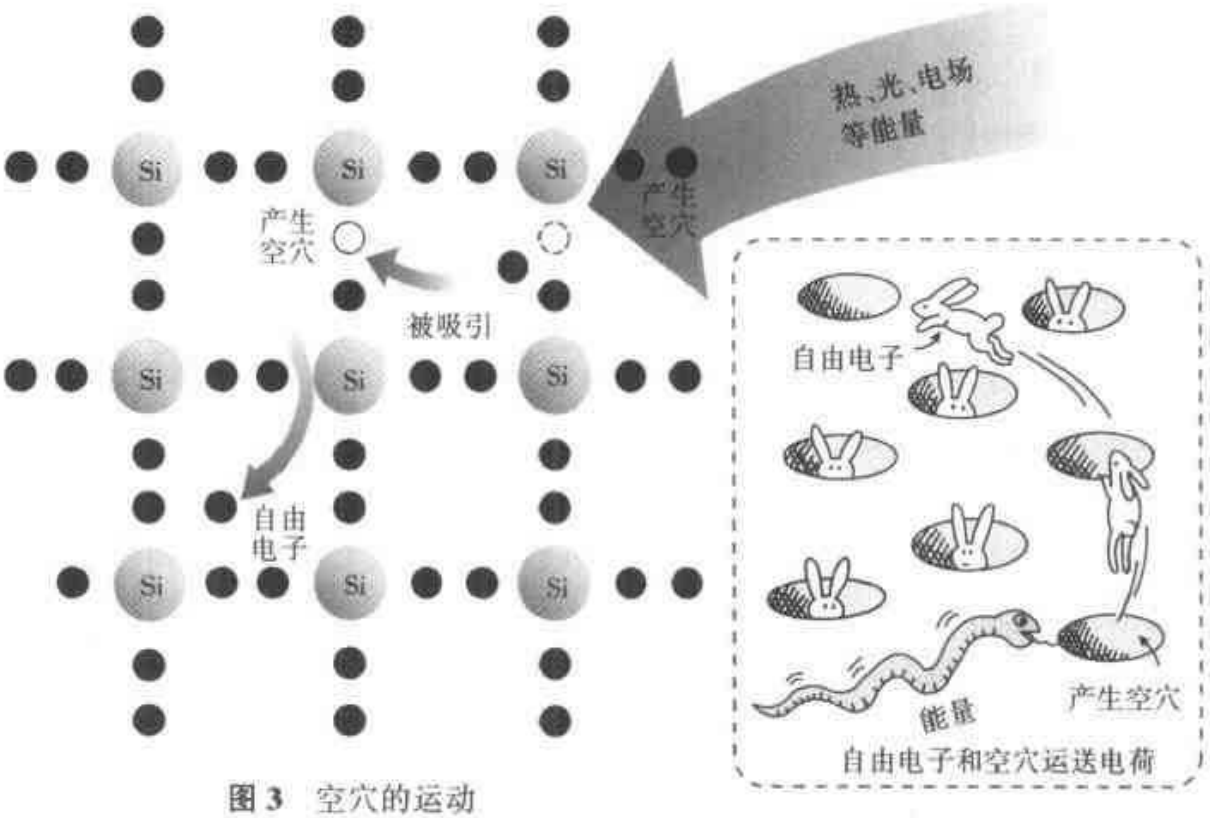


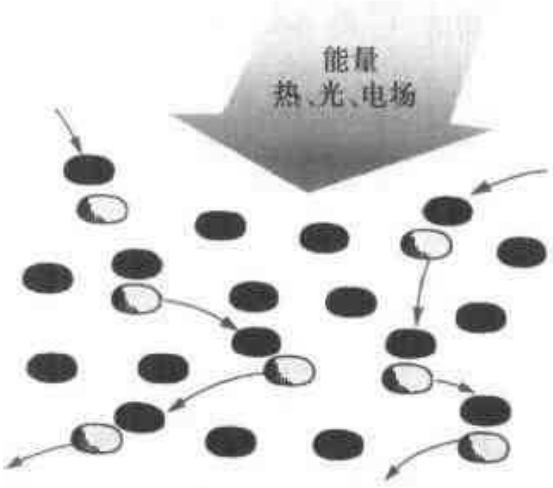
图 3　空穴的运动

One Point

载流子的产生与复合

由于热、光、电场等能量的作用，使半导体内产生了载流子（即电子和空穴），它们也会在一定时间内相互结合而消失。这种现象称为载流子的复合。

当来自外部的一定能量加在半导体上时，载流子的产生与复合是同时进行的，由于产生与复合的比例相同，所以载流子总数不变。



3 载流子的行为



本征半导体

自由电子和空穴都是在半导体中输运电荷的载体，是电荷的搬运工。正是在这种意义上，它被称为载流子。

我们所说的电流在半导体中运动，就是指这些载流子的移动。

半导体是一种对**杂质**很敏感的材料，只要有少量杂质混入，它的性能就会发生很大变化。因此，需要先制造出纯度极高的半导体晶体，然后掺入极少量的杂质，来获得适量的载流子。

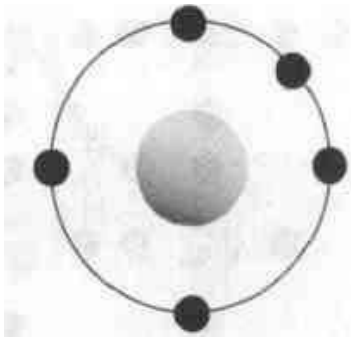


图1　砷(5 价)原子模型

纯度达 99.999999999%（11 个 9）的高纯半导体称为**本征半导体**。

施加能量产生载流子

本征半导体中，自由电子和空穴数目几乎相等。如果把热等能量加给本征半导体，半导体中的自由电子和空穴就会增加，所加的能量越大，增加的载流子的数量就越多。

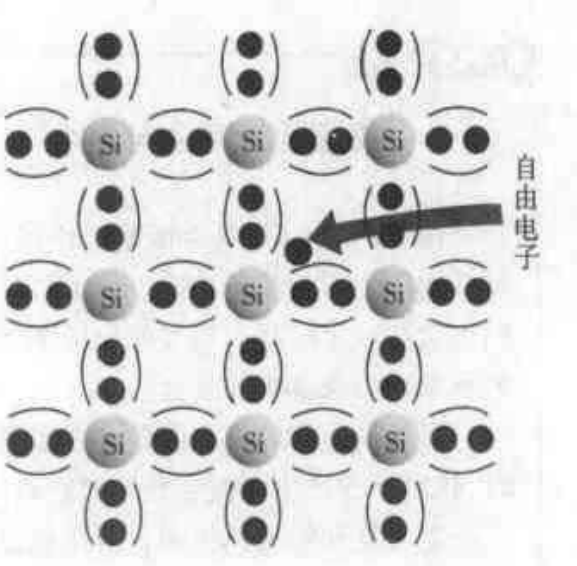


图 2　n 型半导体制造方法

制造 n 型半导体

如果在本征半导体中掺入极少量的 5 价原子（例如砷元素等，图 1）制成晶体，则如图 2 所示，砷元素提供了一个多余电子，这种电子很容易在半导体中运动，成为自由电子。

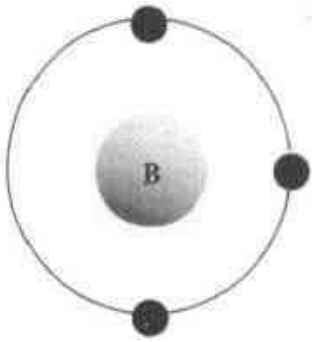


图 3　硼原子模型

混入本征半导体中的 5 价原子称为**施主**（donor）。当晶体中有施主混入时，电子的数目比空穴多，这种半导体称为 n 型半导体。

制造 p 型半导体

如果在本征半导体中掺入极少量的 3 价原子（例如硼元素等，图 3）制成晶体，则与 n 型半导体相反，价电子少了一个，形成了空穴（图 4）。一旦形成空穴，附近原子的电子就容易来占领，从而形成空穴的移动。

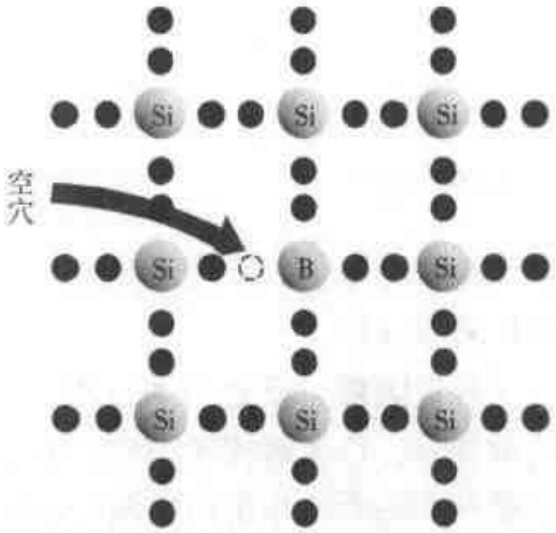
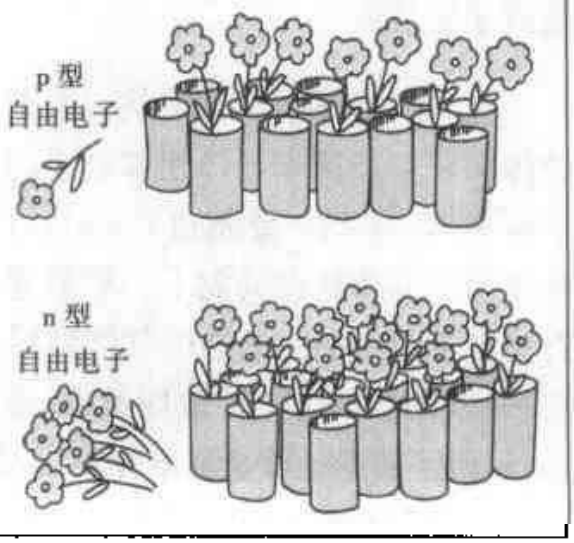


图 4　p 型半导体的制造方法

One Point

多数载流子和少数载流子

n 型半导体中的自由电子和 p 型半导体中的空穴，在它们各自的载流子中占多数，故称之为多数载流子；而 n 型半导体中的空穴和 p 型半导体中的自由电子，在它们各自的载流子中占少数，故称之为少数载流子。这样，我们就可以有意识地按多数载流子和少数载流子的不同来制造半导体，使之适合于电路应用的需要。



4 p-n 结



载流子的迁移

在半导体中，载流子还会由于漂移和扩散而迁移。

所谓**漂移**，就是当半导体上加有定向电场时，作为载流子的空穴和电子就会受到电场力的作用而移动的现象。

所谓**扩散**，就是当半导体中载流子达到一定浓度时，载流子就会像滴入水中的墨水向周围蔓延扩展那样，从浓度大的部分向浓度小的部分移动的现象。

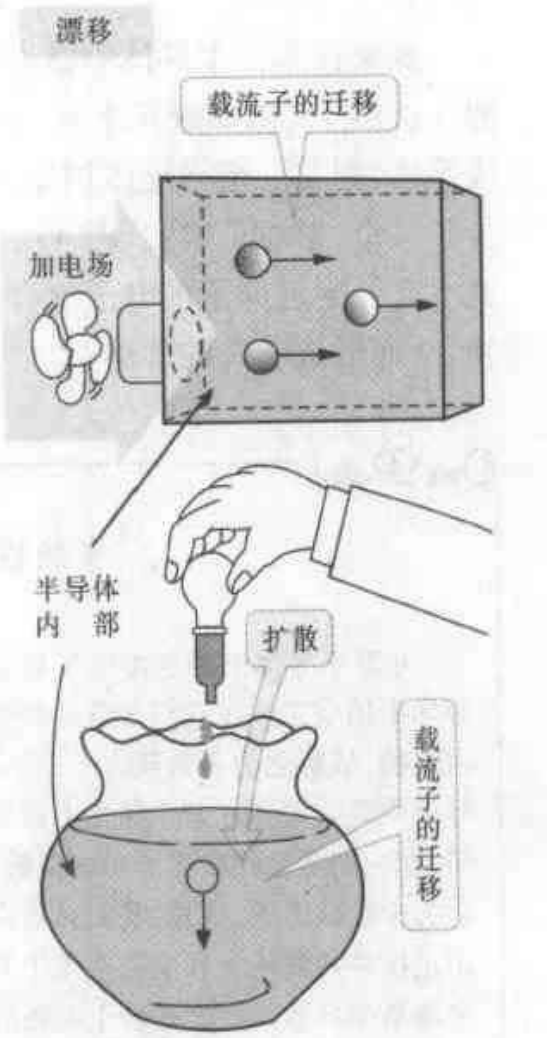
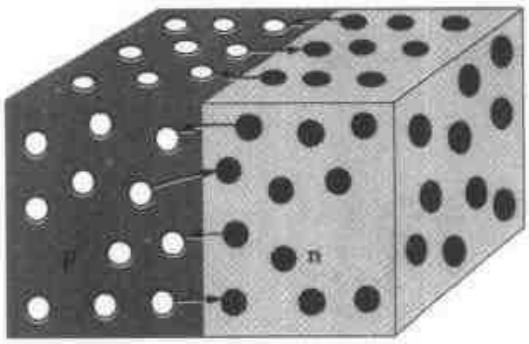


图 1 载流子的迁移

载流子的注入

在一块本征半导体中使 p 型杂质半导体和 n 型杂质半导体相邻制成的晶体结构称为 p-n 结。要制造 p-n 结，可先将硅或锗半导体放在高温下，然后通入含有**施主杂质**或**受主杂质**的气体即可。p-n 结一旦形成，则由于扩散现象，如图 2 所示，n 型区的电子就会向 p 型区移动，而 p 型区的空穴向 n 型区移动。这种向对

方区域移动的载流子称为**注入载流子**。



载流子的扩散

图 2　载流子的注入

耗尽层

注入的载流子在各自的区域也可称为**少数载流子**。

p 型和 n 型两个区域的结合面称为结面，如图 2 所示。在结面附近，n 型区的电子由于移动到结面的 p 型区而产生了正电荷。p 型区一侧，由于空穴移动到结面的 n 型区而产生了负电荷。

这样，在 p 型和 n 型的结面附近区域就失去载流子，因而称之为**耗尽层**。由于在结面附近产生的负电荷和正电荷形成电场，这一电场阻止电子和空穴的继续移动，从而达到平衡状态。

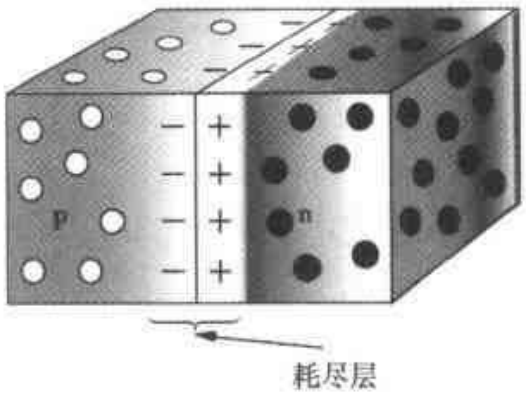


图 3　耗尽层的产生

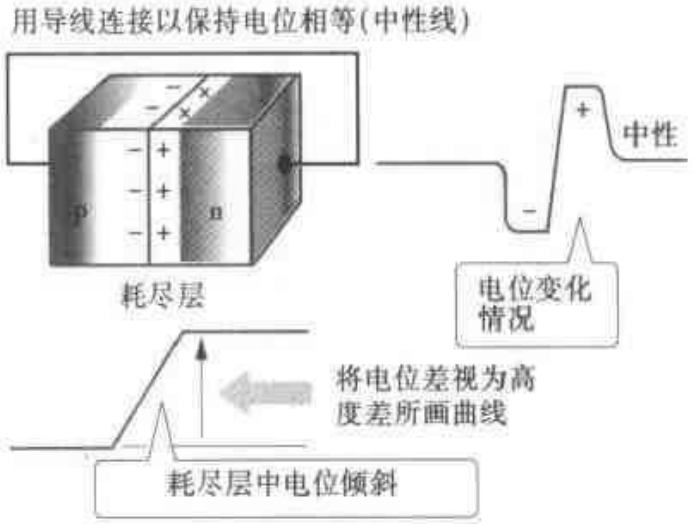
在制造二极管和三极管时，制作 p-n 结是必不可少的。

One Point

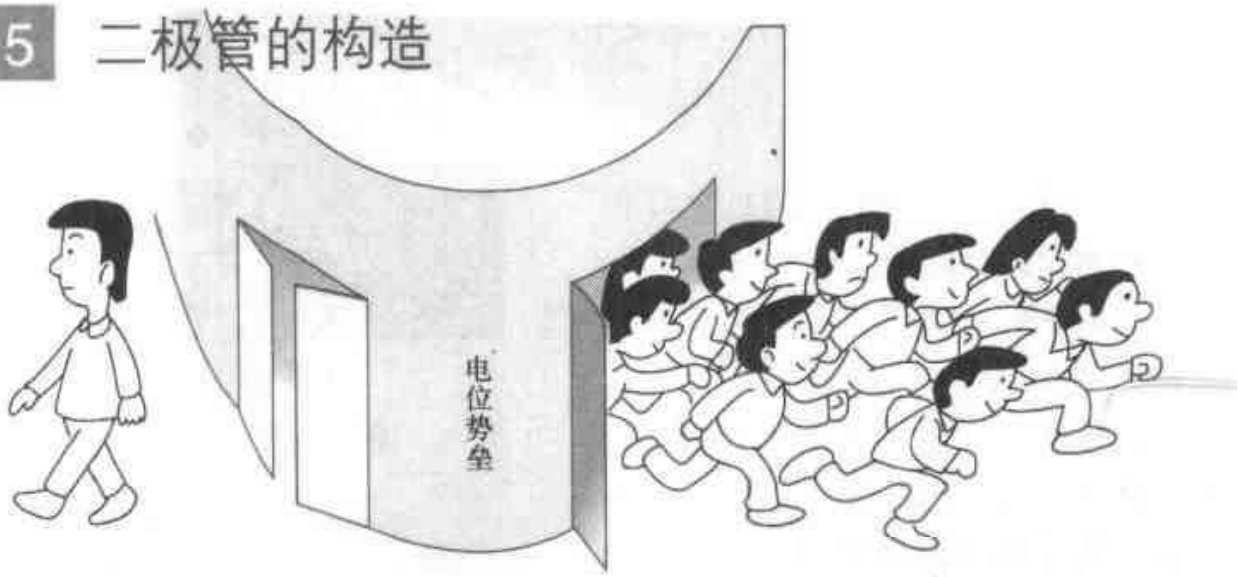
势垒(potential barrier)

耗尽层中能观察到电位变化。如果用图表示该电位的变化，即如右图所示。p-n 结面的这种电位倾斜表明它能阻止载流子移动，从这个意义上讲，耗尽层中的电位倾斜被称为势垒。

为了使载流子移动，可以设法加一个电压使该势垒的高度降低。



5 二极管的构造



加正向电压

为了使电流流过 p-n 结，必须有载流子的迁移。

把一个外部电压加在 p-n 结上，p 区接正极，n 区接负极。则 p-n 结的势垒降低，从而引起载流子的迁移，空穴越过势垒流入 n 型区，如图 1 所示。

按上述方法加在 p-n 结上的电压称为**正向电压**，流过 p-n 结的电流称为**正向电流**。

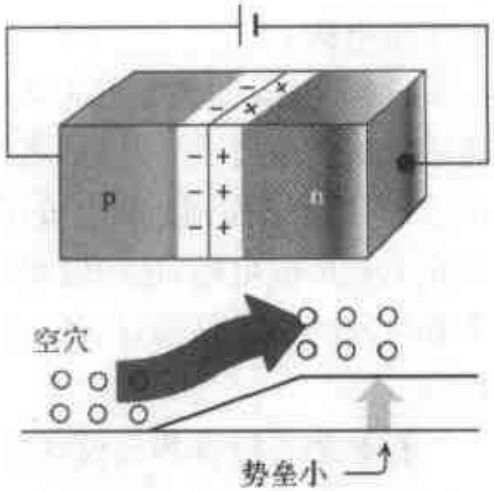


图 1　正向电压

加反向电压

如图 2 所示，如 n 区接外电压的正极，p 区接外电压的负极，则势垒进一步增高，几乎不能产生载流子的迁移（仅流过极小的电流）。

这样加在 p-n 结上的电压称为**反向电压**，流过 p-n 结的电流称为**反向电流**。正向电压又常称为正偏压，反向电压又常称为负偏压。

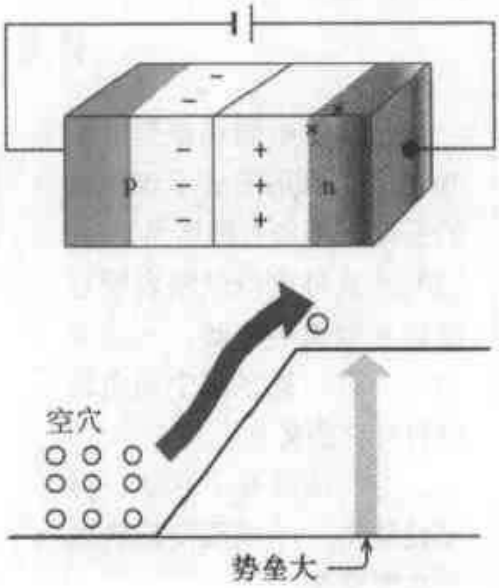


图 2　反向电压

结型二极管

具有电流只能沿固定方向流动这一性质的 p-n 结的器件称为 p-n 结二极管，或简单称为结型二极管。图 3 示出了 p-n 结二极管的特性曲线。

二极管是具有如图 1 所示的二个接线端的器件，对锗二极管，为使电流流过的正向电压约为 0.2V，对硅二极管约为 0.6V。

如图 4 所示，二极管的电压-电流关系是非线性的，其电流流过的难易程度随所加电压的方向不同差别极大。对于正向，极小的电压就能产生很大的正向电流。

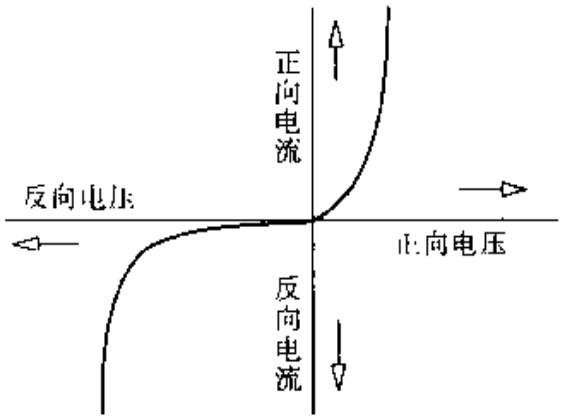


图 3　p-n 结的特性曲线

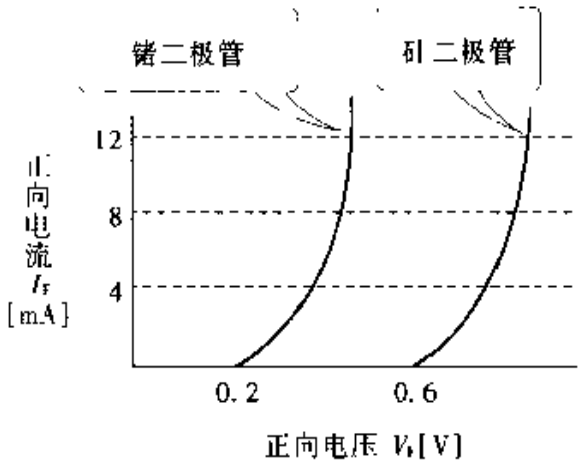


图 4　二极管的特性曲线

One Point

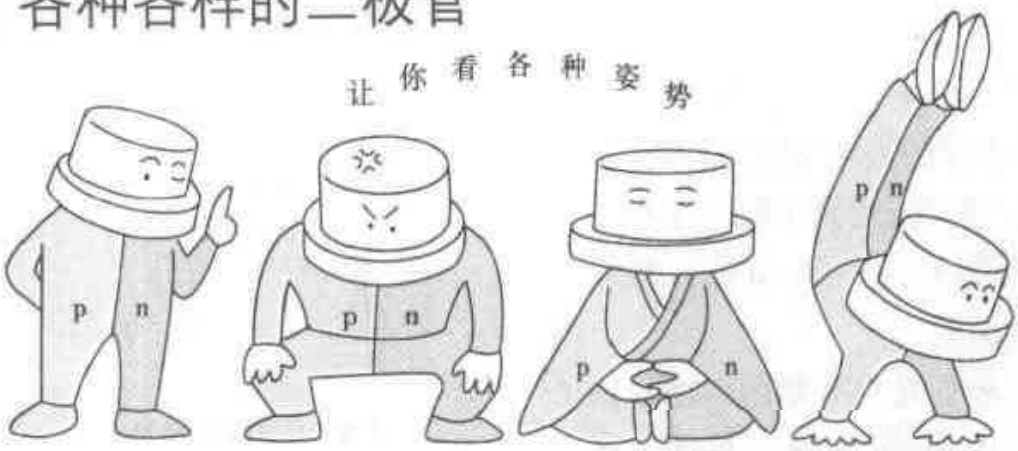
二极管的额定值

为安全使用二极管，电压、电流、功率、温度等参数不能超过规定的最大额定值。以 1S2462 型二极管为例，其特性如下表所示：

最大额定值			电气特性	
直流电压 V_R	平均正向电流 I_O	允许功耗 P	正向电压 V_F	漏电流 I_R
200V	100mA	250mW	正向电流 100mA 时为 1V	反向电压 200V 时 1.2μA

硅二极管适用于大电流的电路，而锗二极管适用于小电流和小电压的电路。

6 各种各样的二极管



发光二极管

发光二极管(LED)的 p-n 结是用磷化镓(GaP)、砷化镓(GaAs)等材料做成，p-n 结上加正向电压时，电流流通，结面发光。光的能量来自于空穴和电子在 p-n 结附近复合时所释放出的能量。注入 p 型半导体中的电子与空穴复合时发射红光，注入 n 型半导体中的空穴与电子复合时发射绿光。图 1 所示为各种二极管的外形。

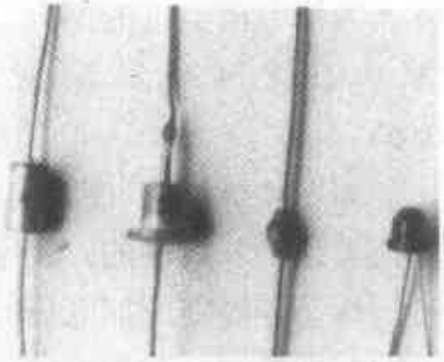


图 1　各种二极管的外形

发光二极管可用于文字显示装置及光通信中的振荡器等。所谓光通信就是将电信号转变成光信号后，通过图 2 所示的光缆来传递信息。

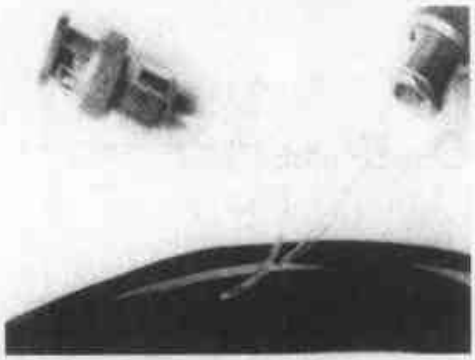
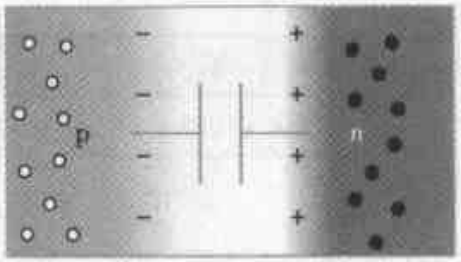


图 2　光缆

变容二极管

p-n 结耗尽层的两侧存在着正负电荷，并呈现被束缚状态，这可以看作是一种电容器(图 3)。耗尽层的宽度是



耗尽层可看作是一种电容器

稳压二极管

如果不断增大二极管的反向电压，直到某电压值之前几乎都没有电流，但超过某个电压值之后，电流急剧增加（二极管的击穿现象，见图4）。这时，自由电子可以越过耗尽层而与电压无关。

稳压二极管又称**齐纳二极管**，它是利用二极管在击穿状态下，电流在很宽范围内变化，而电压保持一定值不变这种性质制造的一种稳定电压的元件。

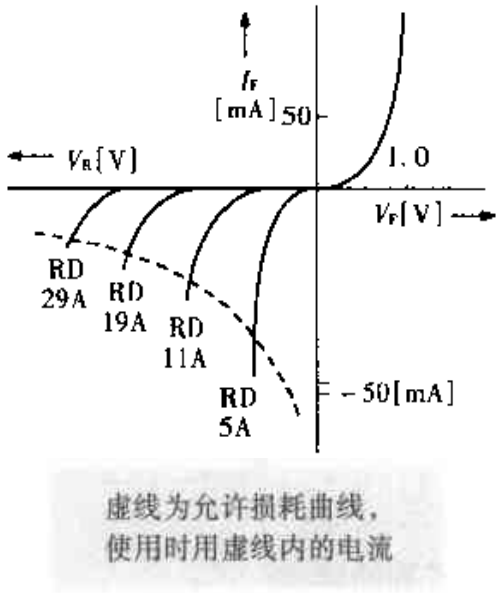


图4　二极管的击穿特性

隧道二极管

如图5所示，在 V_1 到 V_2 之间增加正向电压，则正向电流减少，具有这种特性（隧道现象）的二极管称为隧道二极管或**江崎二极管**。它可用于微波到毫米波段使用的放大器和振荡器。

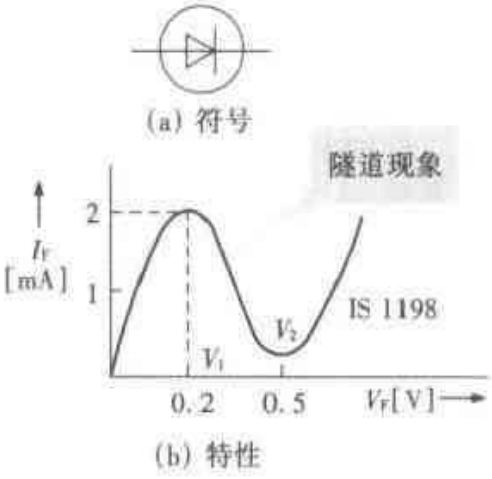
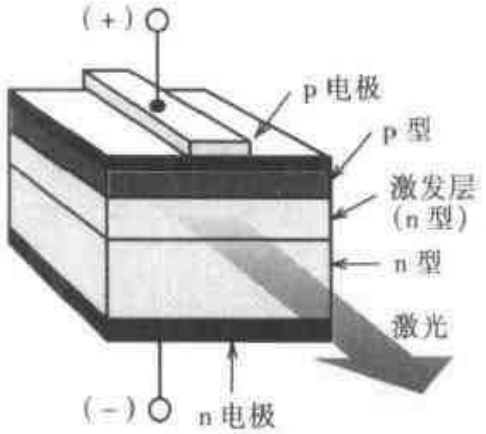


图5　隧道二极管的符号和特性曲线

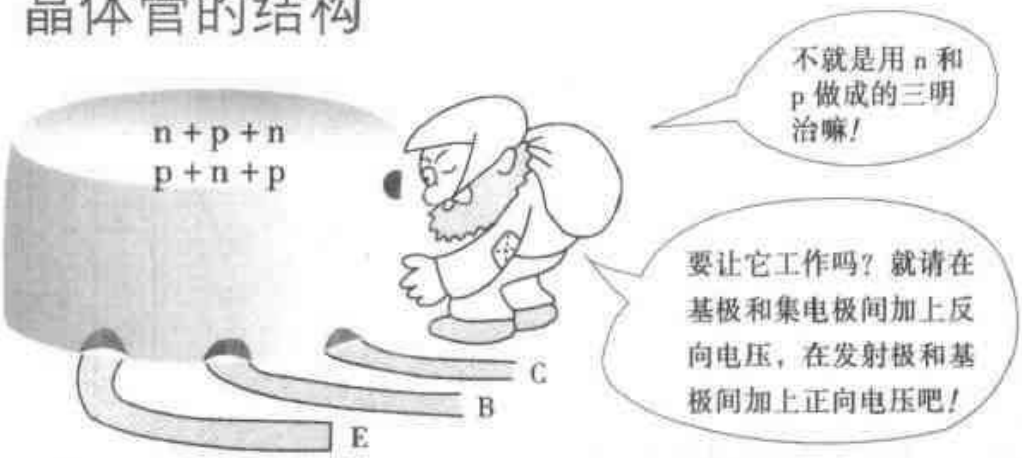
One Point

激光二极管

光通信广泛应用于大容量公众通信、信息处理等领域，作为其光源，最有前途的是激光二极管。如图所示，当这种二极管中有正向电流流过时，激发层起着反射镜的作用，发射出激光。



7 晶体管的结构



晶体管的结构

结型晶体管具有图 1 所示的结构，p 型半导体中间夹着一层很薄的 n 型半导体的，称为 p-n-p 型晶体管。n 型半导体中间夹着一层很薄的 p 型半导体的，称为 n-p-n 型晶体管。

p 和 n 只表明其中的载流子分别为空穴和电子，从晶体管的作用来说，p-n-p 型和 n-p-n 型是完全相同的。

图(a)为 p-n-p 型晶体管的模型，两边的 p 型层上装有电极，一端称为**发射极**，另一端称为**集电极**。而中间很薄的 n 型称为**基极**。图(b)表示 n-p-n 型的构造。图(a)和图(b)的左侧分别是 p-n-p 型晶体管和 n-p-n 型晶体管的符号，不过一般情况下，符号中的 E、C、B 是不写的。

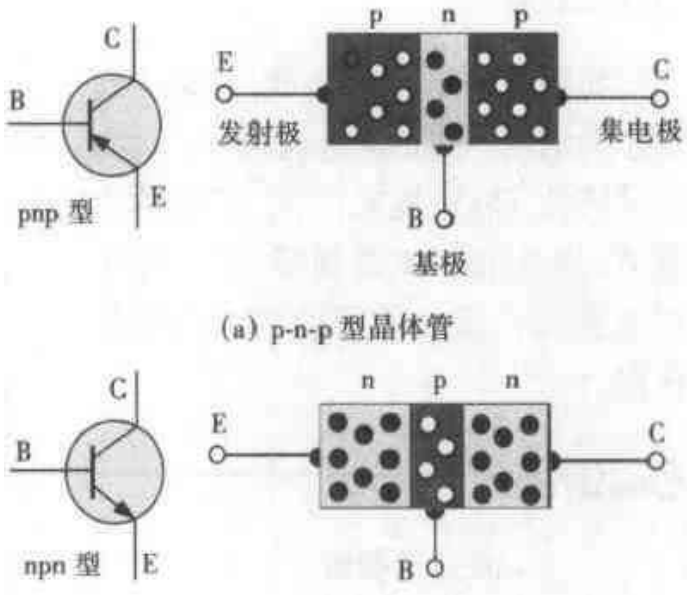


图 1　结型晶体管的结构与符号

晶体管的工作原理

如图 2 所示，当只在基极与集电极之间加上反向电压时，晶体管中不会有电流。但是，如果进一步在发射极与基极之间加上正向电压，就会有电

流从集电极流出(图3)。

这是由于在发射极与基极间加有正向电压 V_{EB} 时,作为发射极的p型区的空穴注入到了作为基极的n型区,其中的一部分与基区的电子相复合,成为基极电流 I_B。而其余的大部分则越过基极与集电极的结面进入集电区,因集电极上加有负电压,它进一步吸引空穴,于是就有了集电极电流 I_C。

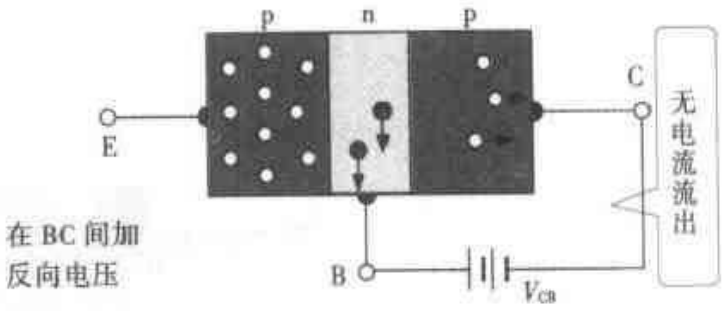


图2 基极、集电极间加反向电压的场合

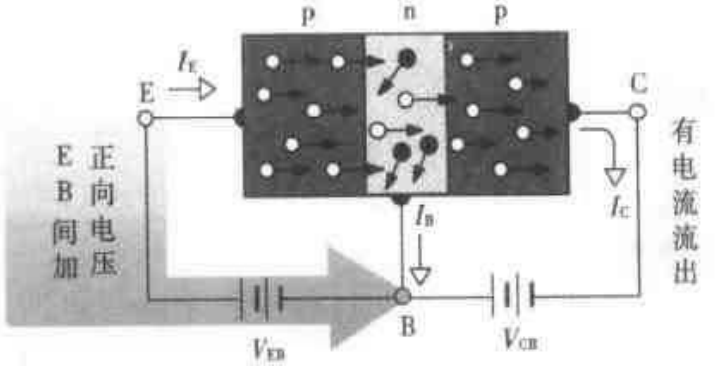


图3 图2的基极和集电极间加正向电压的情况

晶体管工作原理的定量分析

现设从发射极流入基极的电流(空穴)为 ΔI_E,则基极电流 ΔI_B 和集电极电流 ΔI_C 之间的关系为

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$$

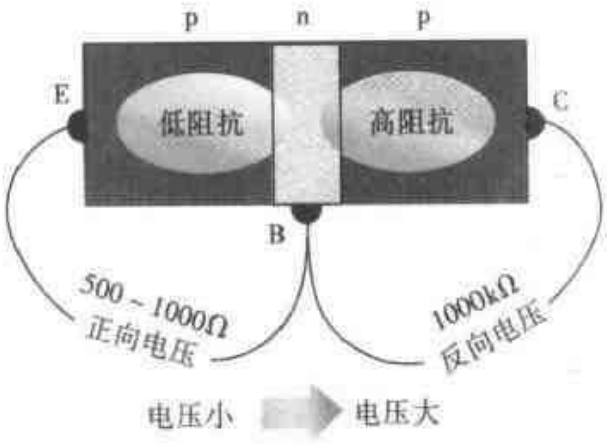
通常,式中的 ΔI_B 是很小的,ΔI_C 和 ΔI_E 的比值大约为

$$\Delta I_C / \Delta I_E = 0.9 \sim 0.99。$$

One Point

如何理解晶体管的放大作用

我们注意到了晶体管的 $\Delta I_C / \Delta I_E$ 的值比1小,既然如此,为什么它还会有放大作用呢?这可以用右图来说明。由于发射极与基极间加有正向电压,所以其电阻小,而在集电极一侧是反向,所以其电阻很大,这样就能得到大的电压比,即得到电压放大。



电极间阻抗的比较

8 晶体管的静态特性



电流放大系数

设集电极电流 ΔI_C 与基极电流 ΔI_B 之比值为 β(集电极电流为 ΔI_C 时，基极电流为 ΔI_B)，则

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C} = \frac{\Delta I_C / \Delta I_E}{1 - \Delta I_C / \Delta I_E}$$

(分子、分母同除以 ΔI_E)

现在，如假设 $\Delta I_C / \Delta I_E = 0.97$，则 $\beta = 0.97/(1-0.97) \approx 32$。

这就意味着如果基极电流有 ΔI_B 的变化，则集电极电流随之变化 ΔI_B 的 32 倍，这个 β 就称为**电流放大系数**。

晶体管的静态特性

使用晶体管时，必须了解各电极间所加电压及所流过电流的关系。

表明晶体管这种电气性能的就是晶体管的**静态特性**。静态特性可以用图 1 所示电路来测量。图 2 为某晶体管静态特性的例子。

图 1 所示电路称为发射极接地电路，以发射极作为基准，电源接在基极与集电极上。这种电路形式常用于普通放大器中。用于测量晶

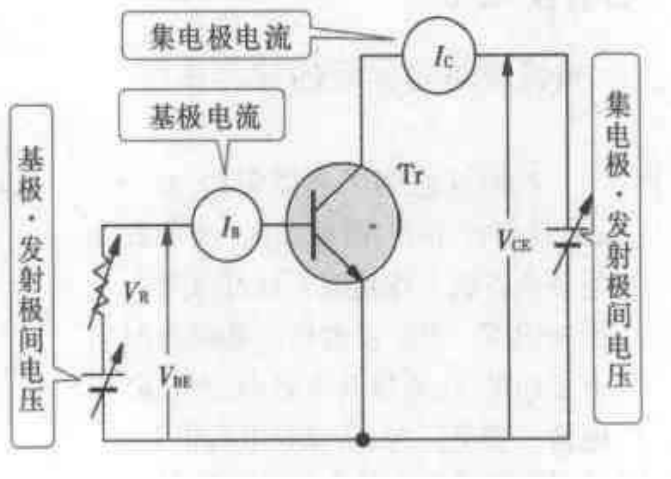


图 1 测量静态特性的电路

体管特性时，常取

$$V_B = 50[\mathrm{k\Omega}] \qquad V_{BE} \approx 0 \sim 0.7[\mathrm{V}] \qquad V_{CE} = 0 \sim 15[\mathrm{V}]$$

发射极接地电路的静态特性

从图 2 的曲线可以看出以下几点。

① 改变集电极与发射极之间的电压 V_{CE} 对集电极电流 I_C 的影响不大，而改变基极电流 I_B 时，I_C 的变化很大。

② V_{BE} 变小时，I_C 急剧减小，并且当 V_{BE} 在 0.6V 附近变化时 I_B 随 V_{BE} 变化很大(第 3 象限)。

③ I_B 和 I_C 的关系几乎成正比，从图 2 的曲线可知，相对于基极电流 I_B，集电极电流 I_C 在 100 倍以上。这个 I_B 和 I_C 的比($I_C / I_B = h_{FE}$)称为**直流电流放大系数**。

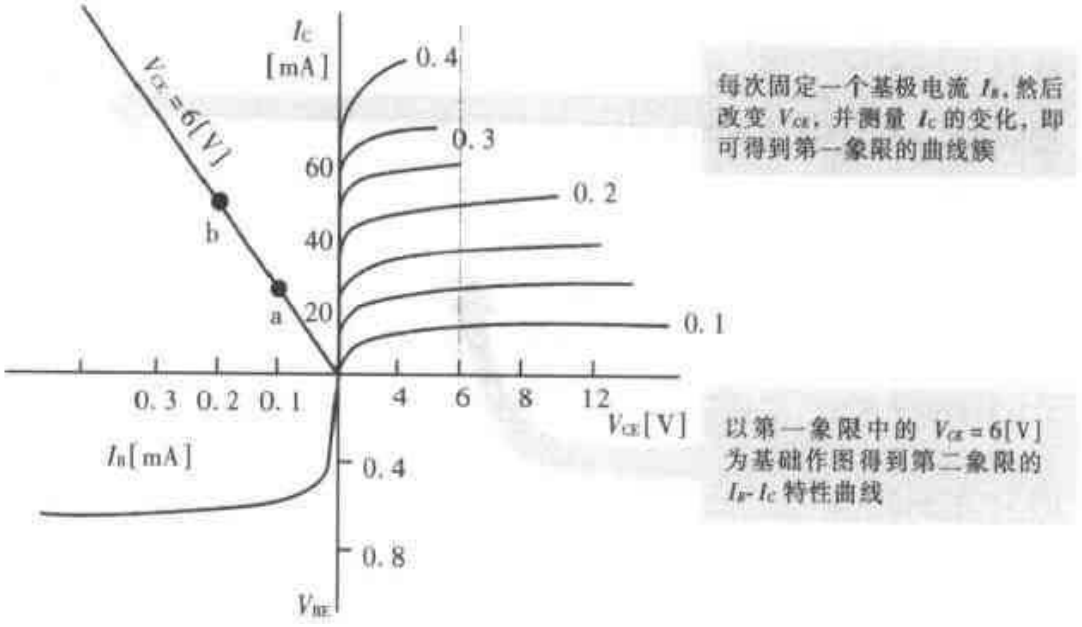


图 2 晶体管的静态特性示例

One Point

直流电流放大系数的计算

问 试求工作在图 2 曲线 a 点上的晶体管的直流电流放大系数 h_{FE}。

答 $$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{20 \times 10^{-3}}{0.1 \times 10^{-3}} = 200$$

问 工作在同图 b 点上的晶体管的 h_{FE} 是多少?

答 $$h_{FE} = \frac{42 \times 10^{-3}}{0.2 \times 10^{-3}} = 210$$

9 晶体管的额定参数



晶体管的最大额定值

为安全使用晶体管，电流、电压、功率、温度等参数决不能超过晶体管规定的最大额定值。

最大额定值是指某个参数单独超过该值时，晶体管就会损坏。

表 1 给出了晶体管型号的表示方法（例如 2SC733A）和额定参数表的查阅方法。

表 1 晶体管型号的表示方法(例如 2SC733A)和额定参数表的查法

2 元件的类别	型号	在 EIAJ(日本电子机械工业协会)登记的型号
0: 光电管	构造	材料和结构名
1: 二极管	用途	使用场所
2: 三极管	最大额定值	表示晶体管短时加载导致损坏的界限
3: 四极管	V_{CB}	集电极 - 基极电压
S 半导体	V_{EB}	发射极 - 基极电压
Semiconductor 的缩写	I_C	集电极电流
C 用途	P_C	集电极功耗
A: p-n-p 型	T_j	结温度
B: p-n-p 型低频专用	T_a	环境温度
C: n-p-n 型		
D: n-p-n 型低频专用		
F: 可控整流器		
733 登记序号		
从 11 起顺序登记		
A 表示改性		

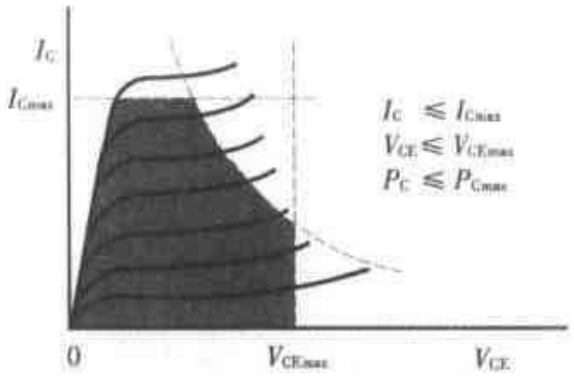
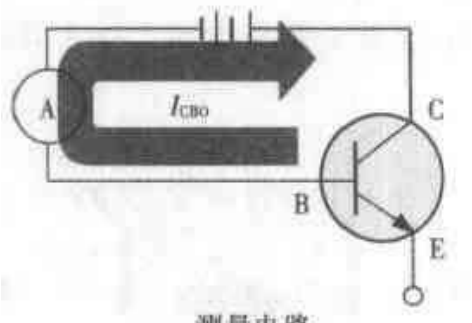


图 1　晶体管的安全使用区



测量电路

10 FET 的结构及工作原理



FET 的结构及工作原理

FET 称为场效应晶体管，是一种由电场来控制电流的晶体管。

图 1 是 n 沟道场效应晶体管的结构。它有 D(漏极)、S(源极)、G(栅极)三个电极。在**漏极**和**源极**间加上电压，就有电流流过。这时若在**栅极**和**源极**间加上反向电压，耗尽层就会扩大，电流的通道(称为沟道)就变窄，电流受到限制(参见图 2)。

这种情况下的电流称为漏极电流，耗尽层的厚度与栅极电压的变化成比例，这就使漏极电流产生变化。

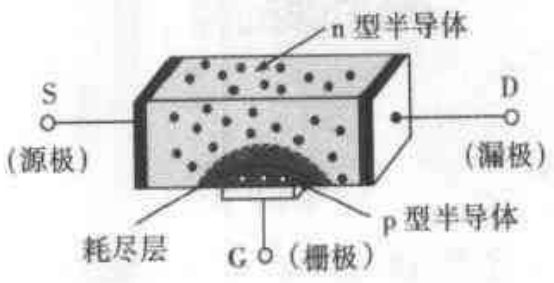


图 1 场效应晶体管(FET)的结构

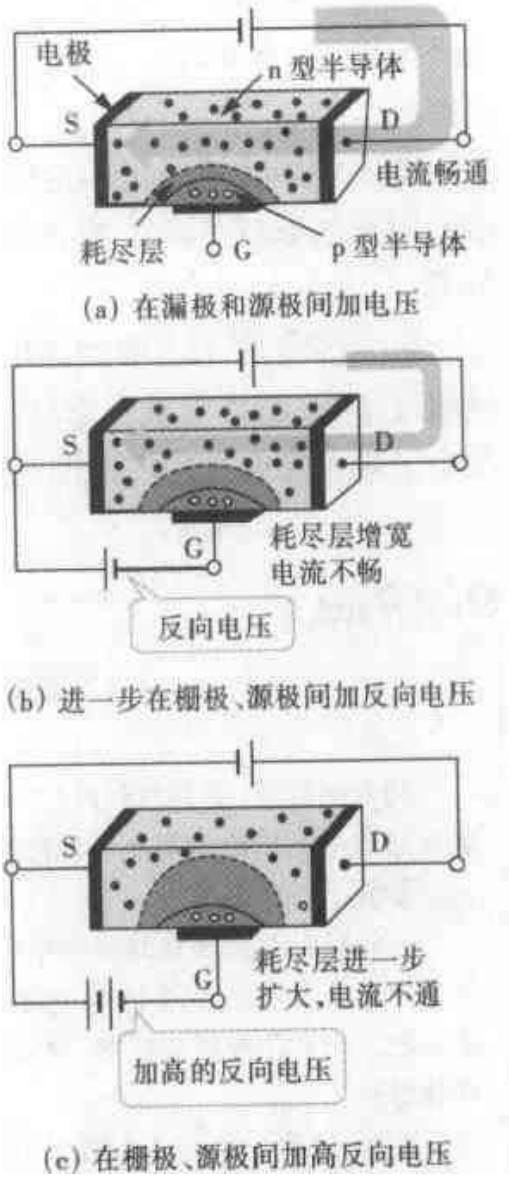


图 2 FET 的工作原理



FET 的种类

通道为 n 型半导体时称为 n 沟道，为 p 型半导体时称为 p 沟道，图 1 所示由于栅极由 p-n 结制成，称为结型 FET。相应的有所谓 MOSFET，它是用一种极薄的氧化绝缘膜（SiO_2）把电流通道（沟道）和栅极绝缘起来，然后在绝缘膜上蒸发金属层作为栅极的元件。MOS 是 Metal-Oxide Semicoductor 的缩写，意为金属氧化物半导体。

图 3 表示耗尽型 MOSFET 的构造。增强型和耗尽型在结构上并无本质区别，仅是制造方法不同。图 4 是两种 FET 符号的例子。

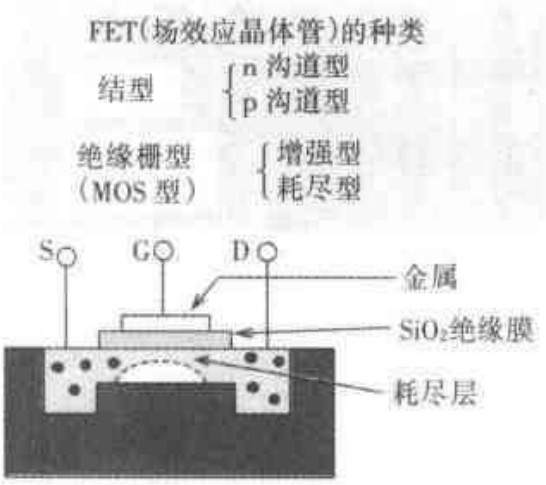


图 3　耗尽型 MOSEFT 的结构

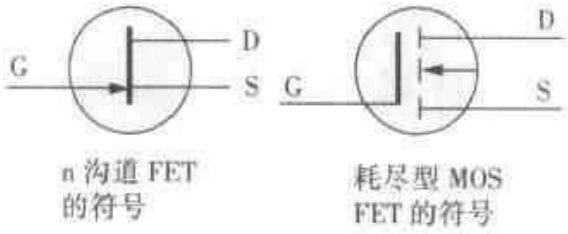


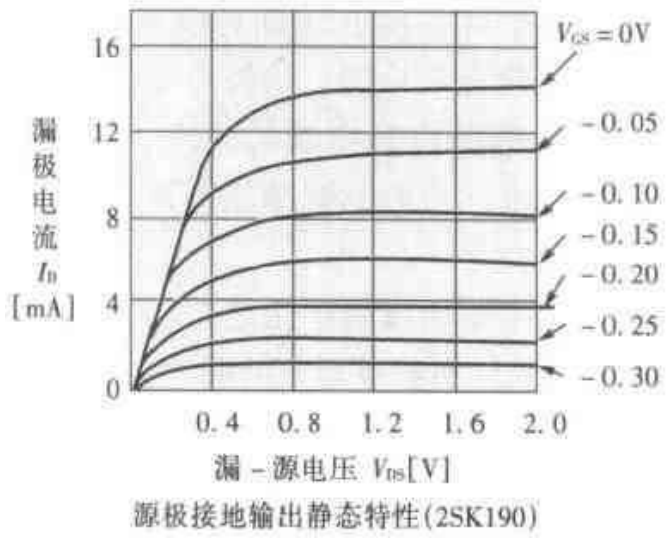
图 4　FET 的符号

One Point

双极型晶体管和单极型晶体管

普通晶体管中，电流是由电子和空穴运送的，从它们是“具有两种极性载流子的晶体管”的意义上讲，可称为双(bi)极型晶体管。

与此对应，在 FET 中，n 沟道型承担输运电流作用的是电子，p 沟道型的是空穴，从它们都有“单极”载流子的意义上说，可称之为单（uni）极型晶体管。



源极接地输出静态特性(2SK190)

11 太阳电池、CdS、热敏电阻

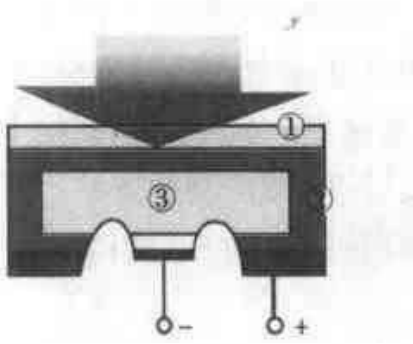


太阳电池

所谓太阳电池（solar battery）是这样的一种器件：当某波长的光照射到具有图 1 所示结构的 p-n 结上时，光的能量使之产生电子和空穴。在结内部电场的作用下，电子向 n 区移动，空穴向 p 区移动。结果 p 区带正电荷，n 区带负电荷，二者相等。其电能可通过电极提供给外部用电器。

普通的硅太阳电池都是以 n 型硅单晶片为基片的。这种单晶是用棒形单晶精制切成的圆片，所以硅光电元件的原型都呈圆片状。

在工序前期或后序工艺过程中，将硅晶片切割成需要的形状，再将之经化学处理后置子高温中，用氧化硼（B_2O_3）在单晶表面进行热扩散，以形成 p 型薄层。



①防反射膜处理
②p 型半导体
③n 型半导体（厚度 0.3 ~ 0.5mm）
（单晶）0.1 ~ 1Ω · cm

图 1　硅太阳电池元件的构造

表 1　单元模块的容量和尺寸

单元模块	容　量	尺　寸（mm × mm）
S260	8.2W（8.2V, 1A）	310 × 560
BP − 75HM18	3.6W（8.2V, 0.44A）	160 × 420
SS5016S	1.2W（2.75V, 0.44A）	117 × 169

CdS

它是镉和硫的化合物，称为硫化镉。CdS 具有电阻值随光照强度而变化的性质，常作为光电转换元件用于曝光表等(图2)。

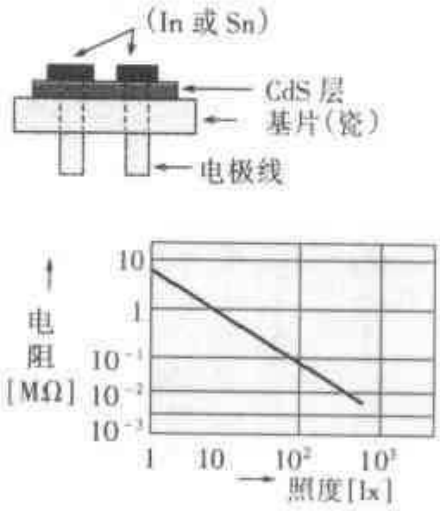


图 2　CdS 的结构及照度 - 电阻特性

热敏电阻

电阻值随温度变化而显著改变的元件称为热敏电阻。它具有温度上升电阻就变小的负温度特性(正温度系数热敏电阻的阻值随温度上升而增大)。这种特性常用于制造温度计及高频功率测量等(图 3)。



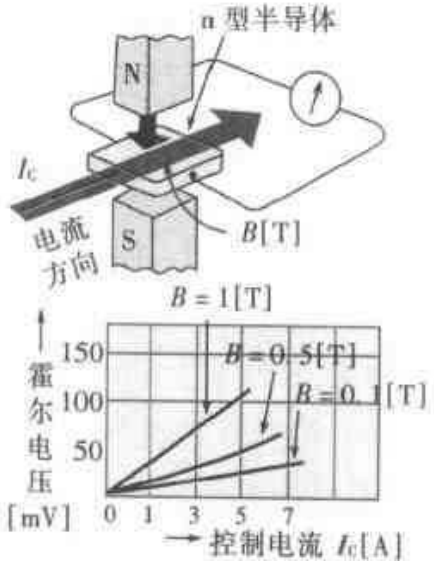
图 3　热敏电阻的结构与特性

One Point

输入的能量不是电能
但输出的是电压和电流

一般的半导体器件，其输入是电压或电流，输出也是电压或电流。这里我们学习的一些半导体器件，它们的输入是光、热等非电能量，它们在各种领域作为传感器使用。

右图所示称为霍尔元件的半导体器件是磁传感器，当外加与电流方向垂直的磁场时，它产生电压。



霍尔元件的控制电流 - 霍尔电压特性

用可控硅实现相位控制

有一种可随意调节灯光亮度的台灯，它就是可控硅调光装置。其原理是，如果不给控制极提供脉冲电流，可控硅就不会导通。因而可以通过错开提供脉冲电流的时间来控制导通时间。白炽灯上所加的正弦交流电是变化的，调节亮度的实质就是控制加在可控硅控制极上的脉冲电流的时间，使交流电在每周期的恰当时刻开始导通(图 5)。

另外，在两个方向上都具备可控硅性质的元件称为**双向可控硅**。

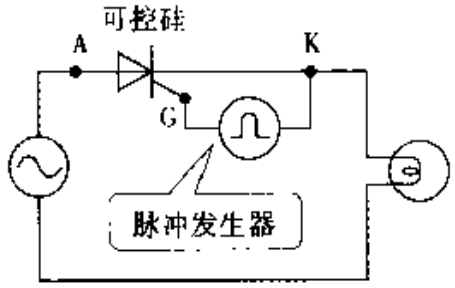


图 4　利用可控硅的调光装置

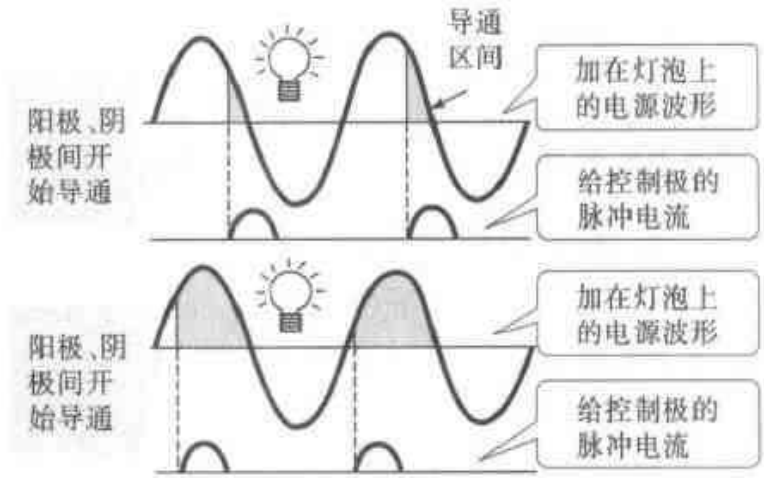
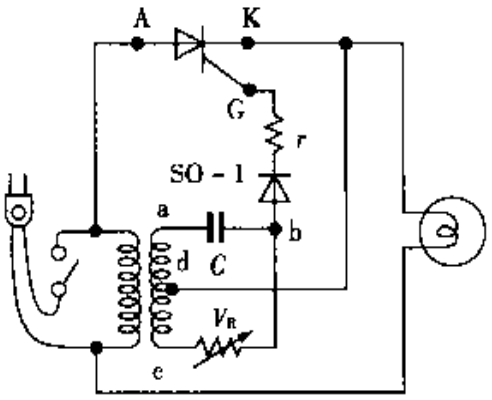


图 5　用可控硅控制相位

One Point

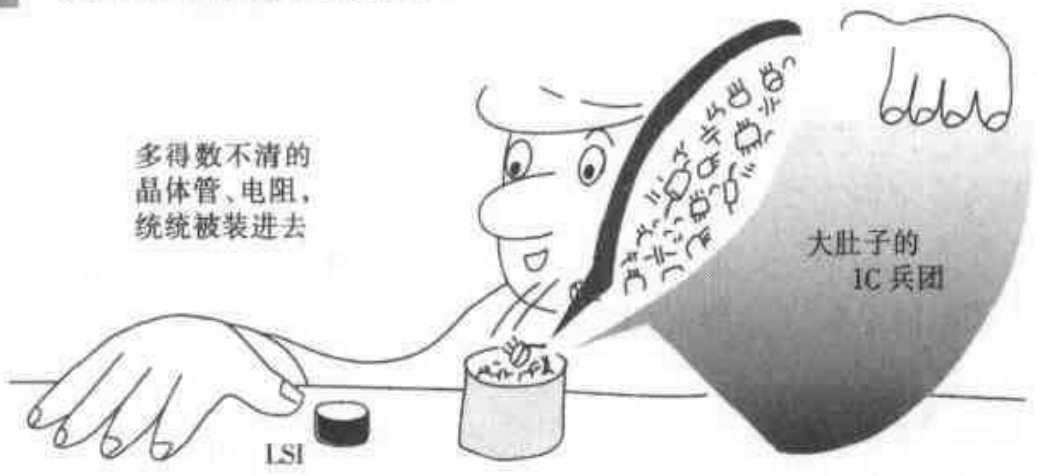
驱动调光装置的移相电路

当调节右图中的电位器 V_R 时，db 间电压(它加在控制极和阴极之间)的相位就发生变化，从而调节了可控硅的导通时间。这种移相电路能通过改变电阻来改变电流的相位。(变压器的次级电压 V_a、电容器两端的电压 V_c 及电阻两端的电压 V_R 在矢量关系中形成直角三角形。)



采用移相电路的可控硅相位控制

13 集成电路的奥秘



何谓集成电路

所谓**集成电路**就是把很多电路部件(二极管、三极管、电阻、电容器等)制作到一块半导体的表面或内部，成为一种超小型的电子电路。IC 是集成电路(Integrated Circuit)的英文缩写。

单片 IC 和混合 IC

图 1 是 IC 晶片的照片。IC 以构造分类可分为单片 IC 和混合 IC。

所谓单片 IC 就是将一个集成电路的全部元器件做在一块硅单晶片上。通常所说的 IC 就是指单片 IC(图 2)。

混合 IC 是用分立元器件(二极管、三极管、电阻、电容器等)和膜电路

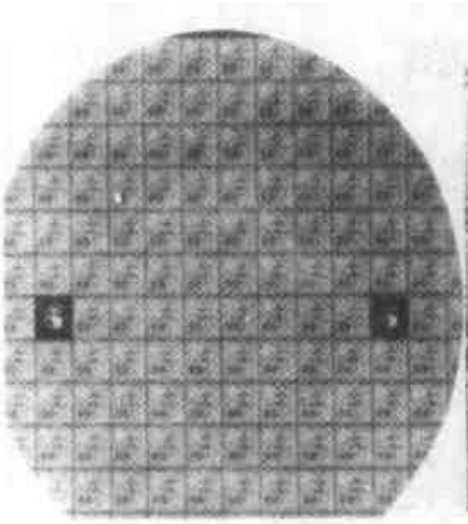


图 1 晶片的照片

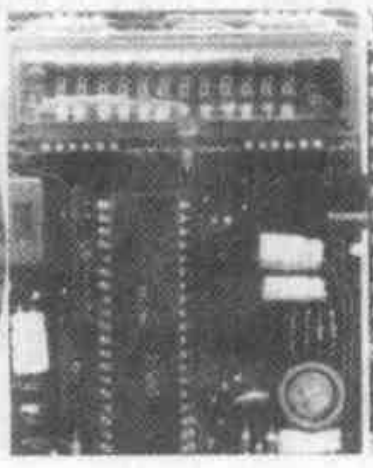


图 2 单片 IC 的外观

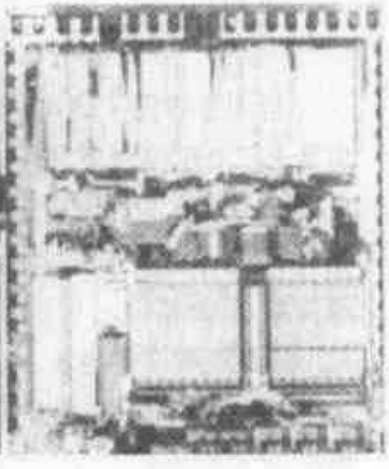


图 3 混合 IC 的照片

组合成的集成电路。这里所谓膜电路就是在陶瓷或玻璃基片上用厚膜和薄膜技术，形成微型化的电阻、电容的电路。图 3 是单只**混合 IC** 的照片。

单片 IC 的特点是利于批量生产、制造费用低、电路的集成度高。混合 IC 与单片 IC 相比，其特点是可以组合成各种电气性能最佳的器件，并可以得到大输出功率电路。

单片 IC 的制造

图 4 表示 IC 的制造过程。

(1)首先取一块①所示的 p 型单晶(熔入极微量硼(B)的硅单晶)。

(2)在单晶片上用外延生长法制造 n 型区。所谓外延生长是先将硅晶片放在高温下加热，再送入 $SiCl_4$ 或 SiH_4，高温分解出的硅原子就沉积在硅晶片上。此时再送入磷(P)之类的蒸气，于是便可得到 n 型半导体。

(3)将它再一次高温加热并送入氧气，使产生 SiO_2 膜。然后再用照像技术在氧化膜上开孔（即光刻）。

(4)再次高温加热，送入含杂质(B_2C_3)的蒸气，在没有 SiO_2 膜的地方（开孔部分）掺入 B，这部分就成为 p 型硅单晶。

(5)将上述操作反复进行下去，就可以制成器件。若对被分开的 n 型区再进一步扩散 p 型杂质，制成的就是 p-n 结型二极管。

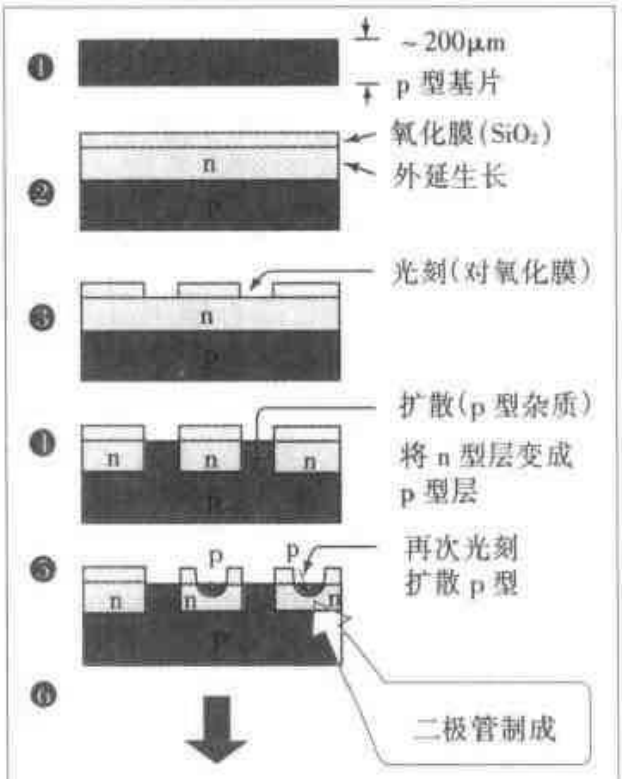
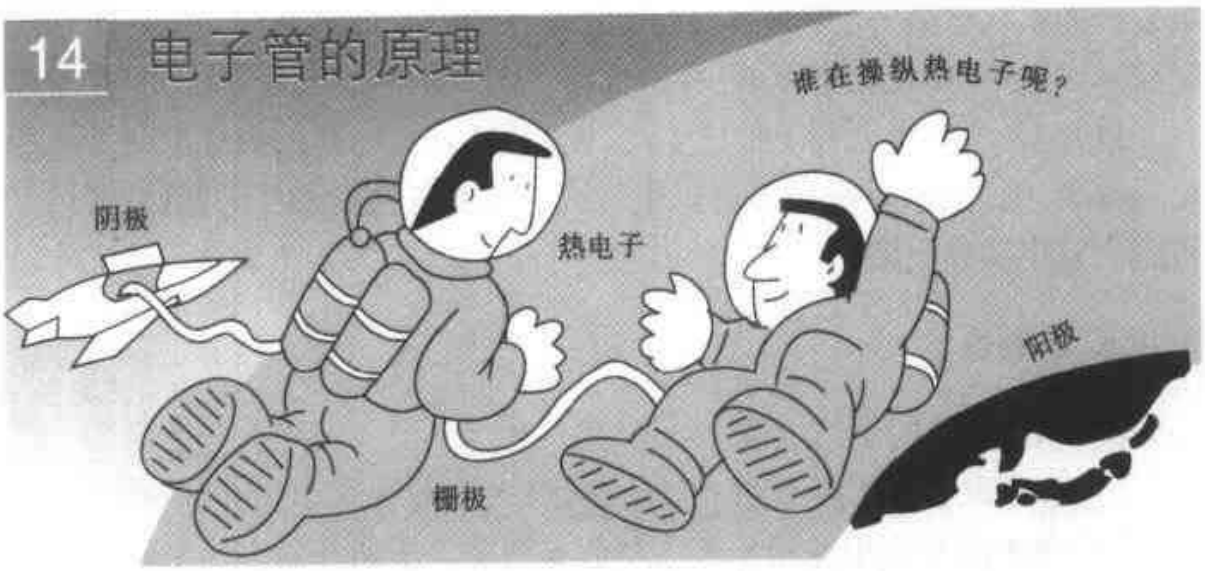


图 4 IC 的制造流程

One Point

IC 的优缺点

它的优点是制造成本低、可靠性高、小型化、耗电少、耐震性能强、故障少。
缺点是输出(电压、电流)受到限制，不能制造电感等元件。



真空管和晶体管

真空管、放电管均称为**电子管**。真空管所具有的基本功能都可以由我们前面学过的晶体管来实现，因此，真空管有被**晶体管**取代之势。但是真空管也有它的独特优点，有些地方还在使用它。例如，现在能够生产的晶体管的最大功率仅为数百瓦，而真空管却能够达到100kW以上的输出功率。由于这一优点，广播电台的振荡管和功率放大管一直还使用着真空管。

真空管的工作原理

从高温加热的固体释放出电子的现象称为热电子发射。真空管就是通过控制热电子发射来实现整流和放大作用的器件。

真空二极管是将阳极(anode)和阴极(cathode)封入真空容器中的真空管(图1)。给灯丝通电加热，灯丝又烤热阴极，阴极就会发射热电子。如使阳极带正电，热电子就被阳极吸引，形成电流。电流的大小，可以通过改变阳极电压来控制。

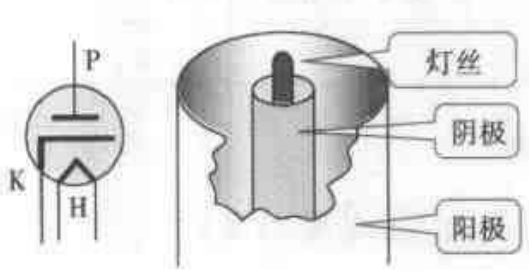


图1 真空二极管的符号与结构

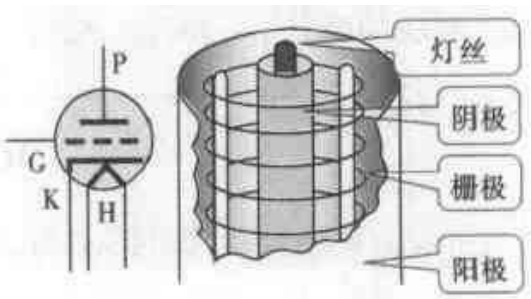
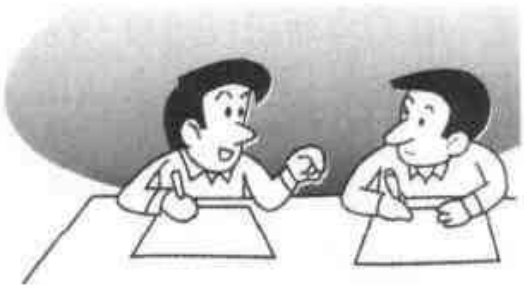


图2 真空三极管的符号与结构



本章小结



1. (a)与导体和绝缘体相比,半导体有哪些特点(p. 30)?
 (提示)电阻率约在 10^{-5} ~ $10^{3}\Omega \cdot m$,受环境影响很大。
 (b)什么是价电子(p. 31)?
 (提示)处于原子最外层轨道上的电子,易成为自由电子。
2. 所谓载流子是什么(p. 33)?
 (提示)半导体中电荷的载体……空穴和电子。
3. 什么是本征半导体、p 型和 n 型半导体(p. 34, 35)?
4. 载流子运动的条件是什么(p. 36)?
 (提示)漂移现象,扩散现象。
5. 什么是载流子的注入? 势垒是什么(p. 36, 37)?
6. 锗二极管及硅二极管的正向电压各为多少(p. 39)?
 (提示)锗的正向电压约为 0.2V。
7. 二极管有哪些种类(p. 40, 41)?
8. 试说明 p-n-p 型和 n-p-n 型晶体管的构造(p. 42)。
9. 什么是直流电流放大系数(p. 46)?
10. 什么是集电极最大功耗 $P_{C\max}$(p. 47)?
11. 请说明双极型晶体管和单极型晶体管的不同点(p. 49)。
12. 试说明太阳电池的构造(p. 50)。
13. 说明用可控硅能实现相位控制的原理(p. 52)。
14. 试叙单片 IC 和混合 IC 的区别(p. 54)。

重要词汇

晶体管(transistor)	太阳电池(solar battery)
二极管(diode)	发光二极管(light emitting diode)
载流子(carrier)	电流放大系数(current amplification factor)
IC(Integrated Circuit)	单片 IC(monolithic IC)
可控硅(thyristor)	混合 IC(hybrid IC)

特性及计算方法。

放大电路可以按所适用的频率分为低频放大电路和高频放大电路，或者按处理信号的大小分为小信号放大电路和大信号（功率）放大电路。本章的后半部分将学习低频放大电路、高频放大电路及功率放大电路的基本工作原理及其特点。

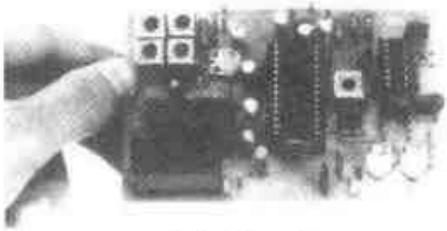
另外，还要学习最近已广泛应用着的 FET 放大电路、集成电路的特点及工作原理。



脉冲电源



汉字合成板



多声道电路



电子电路的结构

本章要学习的内容

了解放大的原理、放大电路的分类以及直流电流放大系数 h_{FE} 和微变电流放大系数 h_{fe} 的计算。

功率放大器处理的是大信号，其动态范围很宽。研究功率放大器的基本工作原理。



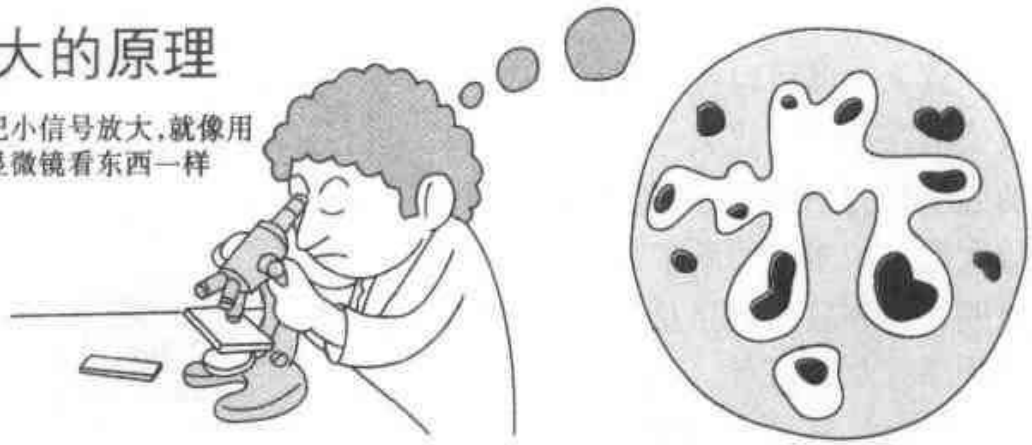
掌握小信号放大电路的构成，以典型电路为例，了解 *CR* 放大电路的工作原理。

学习有关负反馈电路、高输入阻抗低噪声的 FET 电路，这些电路在构成方法上均有独特思路。

学习晶体管正常工作所必须的偏压及偏置电路。



1 放大的原理



放大器的作用

莫尔斯电报机发明于 1837 年，这项发明曾被誉为划时代的发明。其实它的原理很简单，不过是采用简单的断续电流来传送信号罢了。然而，随着时代的进步，温度、速度、光的强度等一切物理量都可以转变成电信号，电的使用已大大扩展了。

不过，作为处理信号的设备，必不可少的是**放大器**。因为是“信号”（而不是某个具体的物理量），所以就有一个如何让人感知到它的问题。为此就需要让信号作某种事情，例如用信号使扬声器发声，或使记录仪动作。只有这样，我们才能明白信号的具体含义。

上述需要又要求必须把能量小的信号变成能量大的信号，担当这项任务的就是放大器。图 1 给出了放大器作用的示意图。

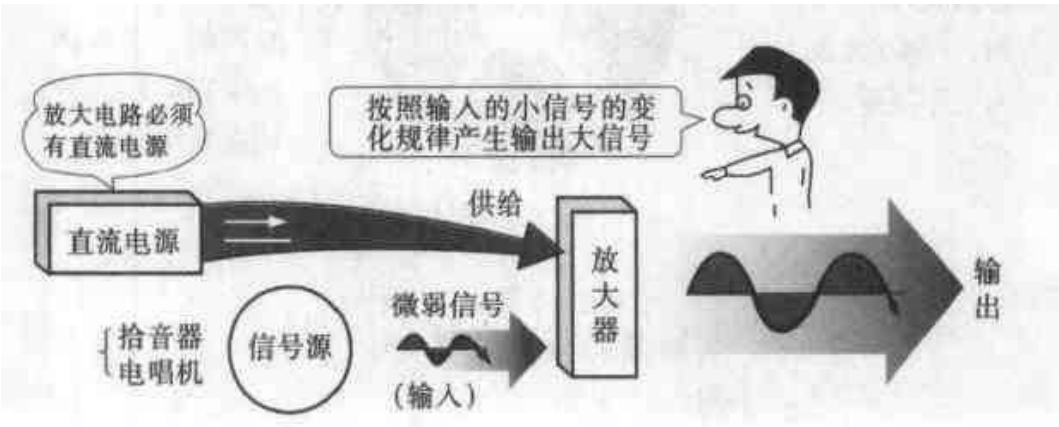


图 1 放大电路的作用

放大器的作用可以比作显微镜和望远镜，或者说放大器是个能把小信号放大的显微镜。

放大的原理

说起放大信号，往往有人误认为是直接将原信号加以扩大。而实际上，放大的原理是直流电源向放大器供给能量，输入端的小信号控制放大器的输出能量变化，从而使输出端得到与输入信号相似的大信号。

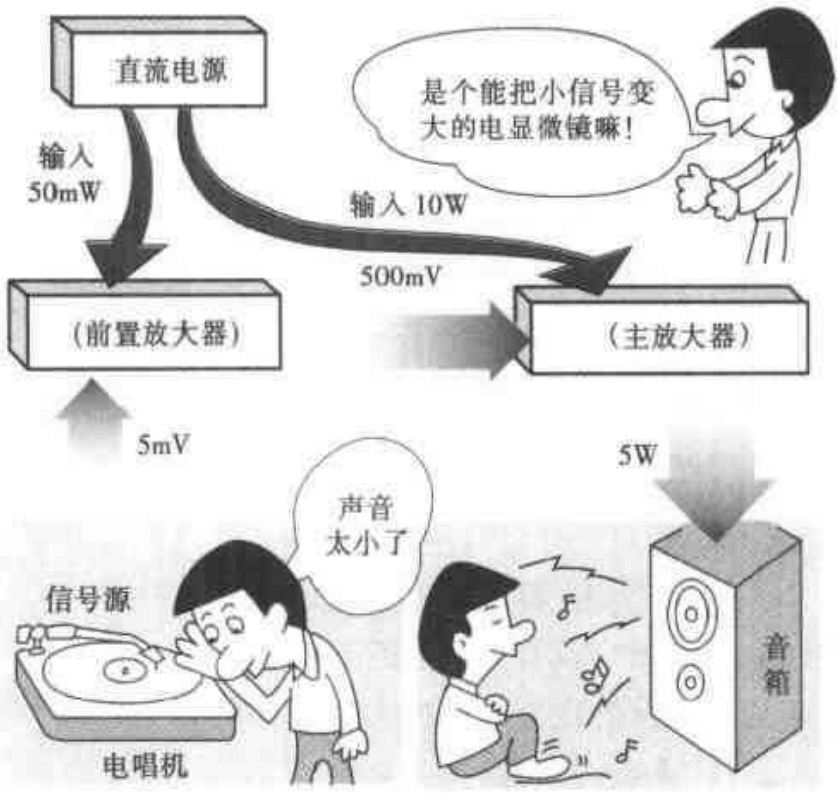


图 2　放大器的构成

图 2 形象地说明了放大器的结构。由于信号源的输出非常小(mV)，所以先用前置放大器将它放大到一定程度(500mV)，然后再用主放大器放大到推动扬声器所需的功率(约为 5W)。

One Point

电子电路中使用的电压、电流的符号

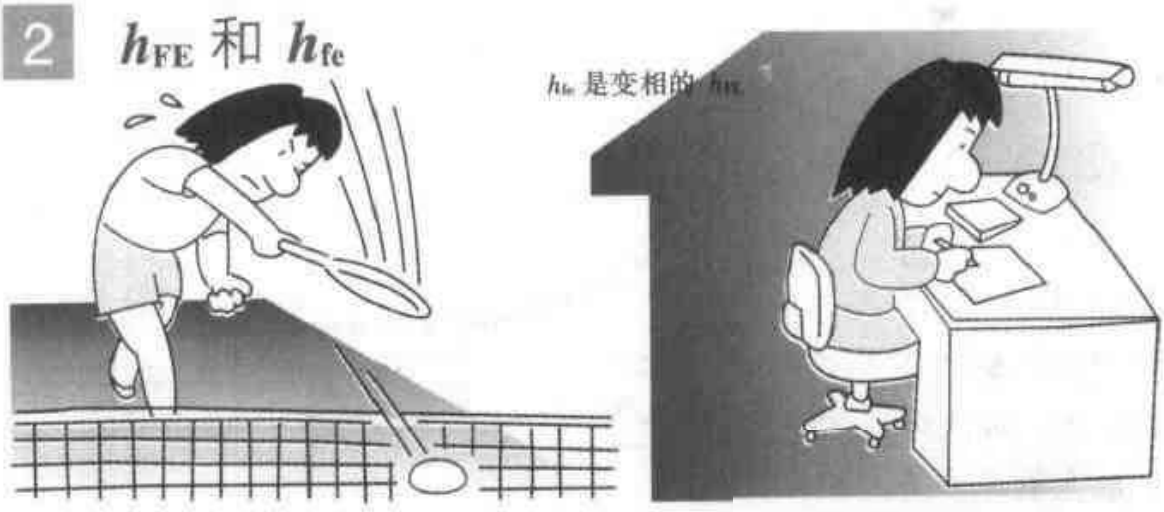
在电子电路中，电压和电流的符号及下标非常多，并且在特定情况下有特定的含义。因此，要注意通过理解电路的工作原理来弄清它们，并正确使用。

在直流和交流的区别上，直流用大写字母(V_{BE}, V_{CE}, I_B, I_C, …)表示，交流用小写字母(v_i, v_o, i_i, i_o, …)表示。

下标也是一样，如 v_i 表示输入电压(i 是 input 的第一个字母)，v_o 表示输出电压(o 是 output 的首字母)。

另外，直流电流中的交流分量一般也用小写字母表示。

2 h_{FE} 和 h_{fe}



h_{FE} 和 h_{fe} 有何不同

如前章所述，如果晶体管流过基极电流 I_B，集电极中就有 h_{FE} 倍的电流流过。h_{FE} 是晶体管的直流电流放大系数，即

$$h_{FE} = I_C / I_B$$

这就表示 I_B 被放大成为 I_C。晶体管就是电流放大器件，但并不是 I_B 直接变成了 I_C。这可以从下面的事实来证实，图 1 去掉 V_C，I_C 即变为零。也就是说，I_C 是从集电极供电电池 V_{CC} 中获取了能量才得以放大的。

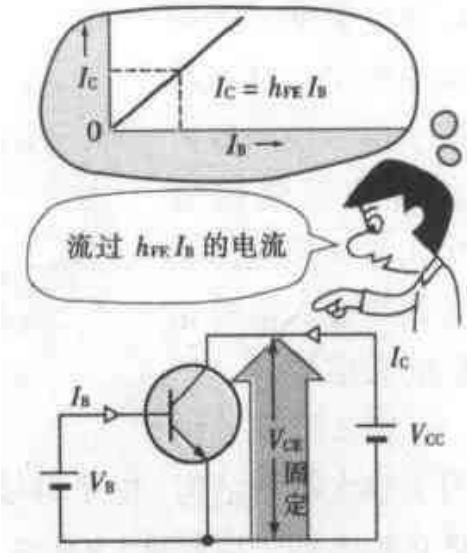


图 1　直流电流放大系数 h_{FE}

$h_{FE} = I_C / I_B$ 的关系对 I_B、I_C 的交流分量也是成立的。

如图 2 所示，若给基极加上小电压 V_b，当基极电流 I_B 发生微小变化时，集电极电流 I_C 也会随之发生微小的变化。这时如果设 I_B 和 I_C 的变化分别为 ΔI_B 和 ΔI_C，则与电流微小变量相对应的放大系数，其下标也用小写字母来表示。

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

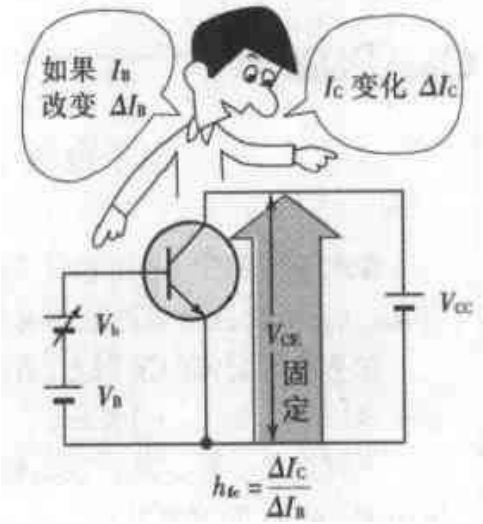


图 2　相对于基极电流微小变量的放大系数 h_{fe}

h_{11}、h_{fe} 的计算方法

对于电流微小变量的电流放大系数一般称为**小信号电流放大系数**，或交流电流放大系数。h_{FE} 和 h_{fe} 的值有多大差别呢？

如果在图 3 的 V_{CE}-I_C 特性曲线上求集电极电压 V_{CE} 为 6V 时 A、B、C 各点的 h_{FE}，则有

$$\text{A 点}\quad h_{FE}=\frac{0.8\times10^{-3}}{10\times10^{-6}}=80$$

$$\text{B 点}\quad h_{FE}=\frac{1.8\times10^{-3}}{20\times10^{-6}}=90$$

$$\text{C 点}\quad h_{FE}=\frac{3.0\times10^{-3}}{30\times10^{-6}}=100$$

以图 3 所示 V_{CE}-I_C 特性为基础所画出的 I_B-I_C 特性曲线如图 4 所示，几乎是线性的比例关系，稍有些弯曲。如果在曲线的 AB 间求 h_{fe}，则为

$$h_{fe}=\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}=\frac{(1.8-0.8)\times10^{-3}}{(20-10)\times10^{-6}}=100$$

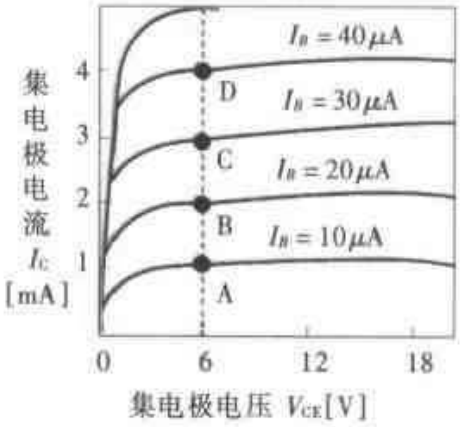


图 3　V_{CE}-I_C 特性

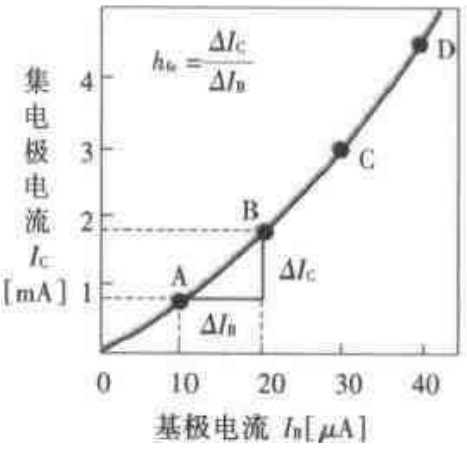


图 4　I_B-I_C 特性曲线

One Point

h_{fe} 的计算练习

问　试计算图 4 所示 I_B-I_C 特性曲线上 D 点的 h_{FE} 值以及 CD 间的 h_{fe} 的值。

答　D 点的 $h_{FE}=\frac{I_C}{I_B}=\frac{4.2\times10^{-3}}{40\times10^{-6}}=105$

CD 间的 $h_{fe}=\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}=\frac{(4.5-3.0)\times10^{-3}}{(40-30)\times10^{-6}}=150$

（注意）以图 4 为基础研究各点的 h_{FE} 可知，随着 I_C 增大，h_{FE} 会稍微增加。

3 放大电路的基本工作原理(1)



使基极电流流动

为使集电极流过电流 I_C，就必须有基极电流 I_B。但在图 1 中，只有当基极加正电压时有电流 I_B 流通，而在加负电压时无电流流通。

设加在晶体管上的信号电压为正弦波电压，这个电压加在基极、发射极之间，其结果是只有在基极为正电压时 I_B 导通，而在负电压时 I_B 不通。

由此可知，一方面 i_b 的正半周波被放大了 h_{fe} 倍，成为 $i_c = h_{fe} i_b$，而集电极电流 i_c 的波形则变成了半波(图 2)。

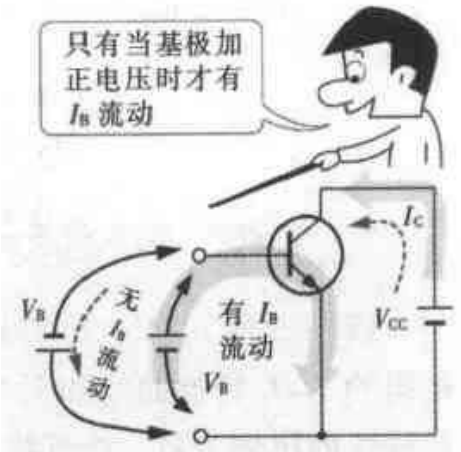


图 1　npn 型晶体管基极电流 I_B

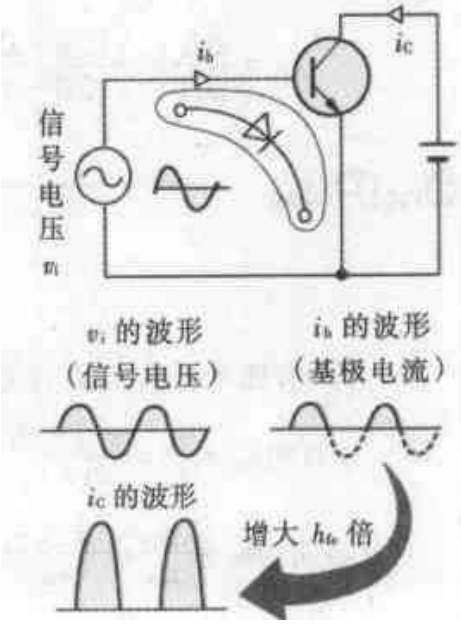


图 2　集电极电流的半波波形

为使输出波形为正弦波

为使输出（集电极侧）为正弦波，在信号电压（正弦波电压）变化的全部期间，基极电压必须为正电压。

为满足这一条件，可以考虑如图 3 所示，与信号电压串联接入直流电源，使基极的合成电压总为正电压，从而使正弦波信

号电压变化期间，i_c能始终流通。那么在集电极端的输出波形就为正弦波了。

偏　置

从以上说明可知，晶体管是在直流分量和交流分量共同作用下工作的。信号电压上叠加的直流电压使晶体管基极流过固定电流，这个电流决定了晶体管的基准工作点，故称之为偏置(bias)。

偏置对晶体管的工作是非常重要的，如果没有适当的偏置，往往会产生图4所示的输出波形畸变。

由给定固定电流来决定工作点的称为**偏置电流**(偏流)，用给定电压来决定工作点的称为**偏置电压**（偏压)。

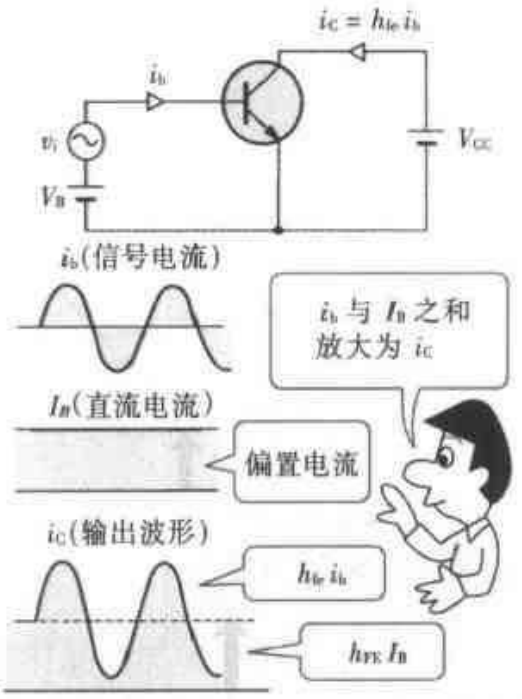


图3　集电极电流与输入波形成正比

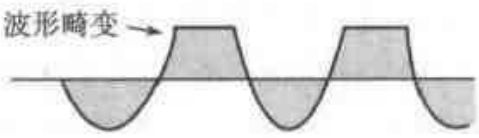


图4　不适当偏置造成的畸变波形

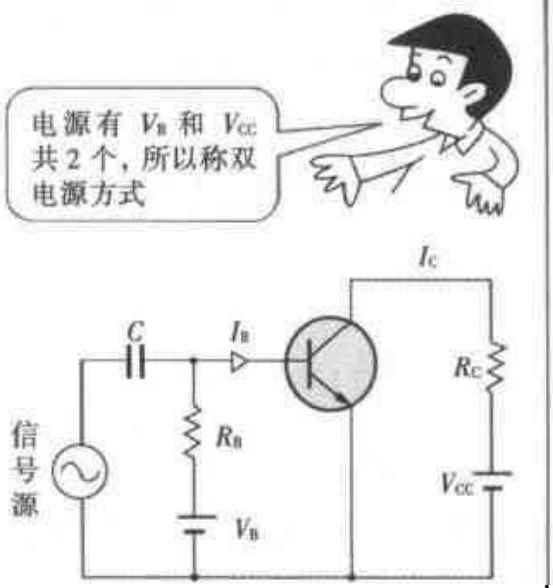
One Point

加偏置的方法

如图3所示，用直流电源与信号电压串联来加偏置的方法，容易造成偏压加过头。或者受信号源阻抗的影响，从而在电路的结构上是不方便的。

因此，实际中大都采用右图所示的方法，在直流电源V_{BB}上串联一个电阻R_B，用R_B调整I_B为适当的值。

电容器C是为防止直流电流流入信号源而设置的。



用电阻R_B的偏置方法

4 放大电路的基本工作原理(2)



如何得到输出电压

如将信号电压 v_i 加在晶体管的基极，则有基极电流 i_b 流过，从而获得放大的大信号 $i_c(=h_{fe}i_b)$。

现在为了在外部得到这个放大的信号，将负载电阻 R_L 串联于集电极，就可以在此处得到电压 v_o。也就是说将电流转换成电压。

图 1 所示是最基本的放大电路，从工作原理可知，晶体管各部分的波形是直流分量和交流分量之和。

各处波形的情况示于图 2。这里必须注意，集电极电流 i_c 和集电极电压（输出电压）v_o 的波形是反相的（相位相差 180°）。

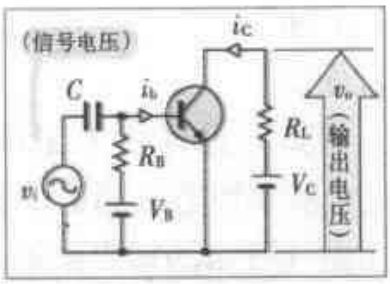


图 1　信号电压 v_i 和输出电压 v_o

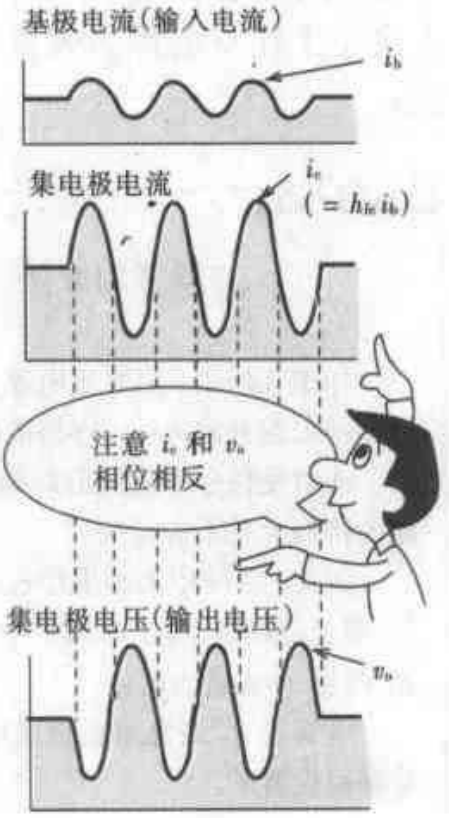


图 2　各部分的电压、电流波形

i_c 和 v_o 为何反相

首先我们仅看图 1 电路的直流部分。由于基极偏压 V_B 的作用，在集电极端总是流过固定大小的电流 I_C。这时，直流电流 I_C 在 R_L 上产生电压降 R_LI_C，集电极

电压 $V_0 = V_C - R_L I_C$[V]。图 3(a) 即表示这时的情况。如果不加信号电压 v_i，则一直维持这种状态。

此时如果加上信号电压（交流分量），则集电极电流 i_c 为周期性的增大减小，输出电压 v_o 也产生相应地变化。从 $v_o = V_C - R_L i_c$ 的关系可知，如 i_c 增大，$R_L i_c$ 则增大，所以 v_o 就减小。相反，如 i_c 减小，则因 $R_L i_c$ 减小，v_o 反而增大。用曲线表示这种关系则如图 3(b) 所示，i_c 和 v_o 反相。

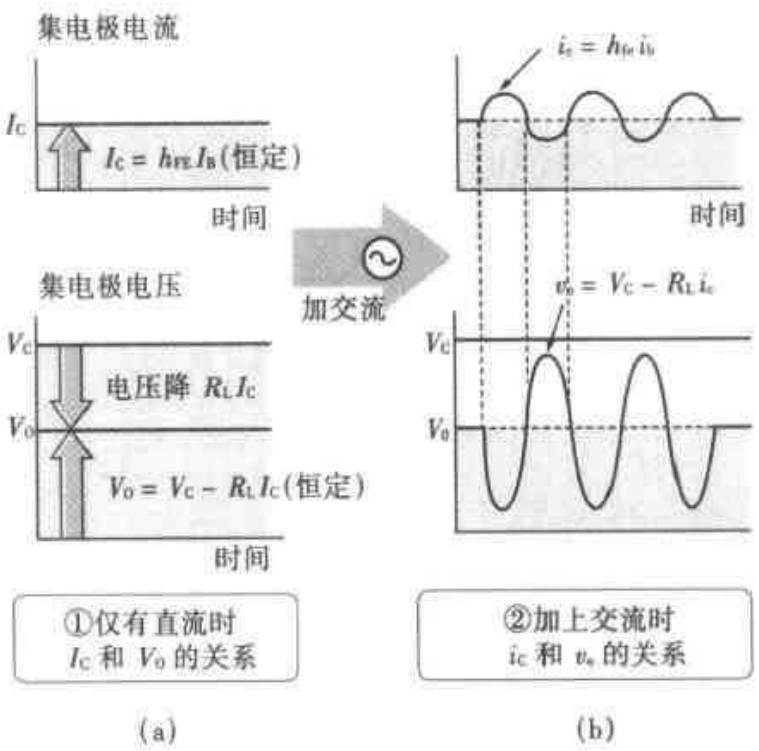
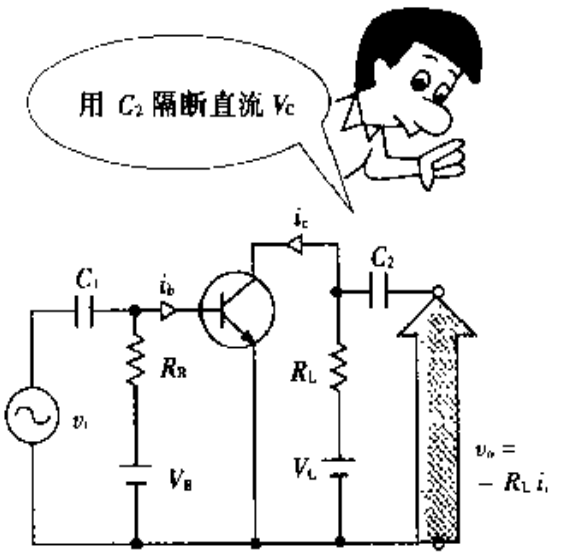


图 3　i_c 和 v_o 的相位相差 180°

One Point

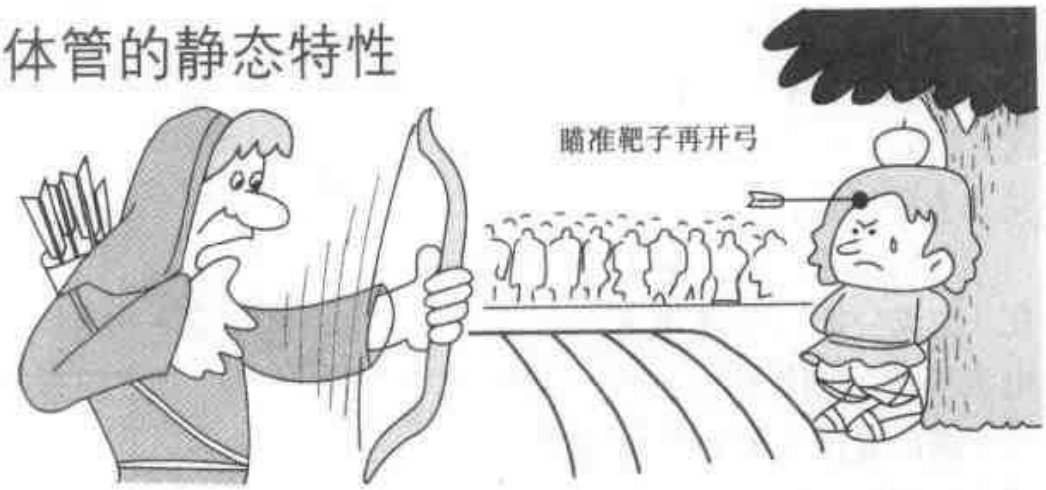
可以认为输出电压 v_o 是 $R_L i_c$

负载电阻 R_L 两端的电压是直流压降 $R_L I_C$ 和交流压降 $R_L i_c$ 之和。但是包含图 3(a) 所示直流分量的输出波形流向外部，难以利用。因而常用右图所示的隔直流电容器 C_2，使得输出的只是交流信号。这样当仅考虑交流输出电压时，其值为 $v_o = -R_L i_c$。由于 v_o 的大小比信号电压 v_i 更大，所以可能得到电压放大。



用 C_2 隔断直流分量

5 晶体管的静态特性



怎样决定集电极电流 I_C

晶体管的特性常用图 1 所示的 V_{CE}-I_C 曲线簇表示，集电极电流 I_C 可利用该曲线来确定。

对于图 2 所示放大电路，当信号电压为零时，电路方程为 $V_{CE} = V_C - R_L I_C$，所以在 V_{CE}-I_C 特性曲线图上画出的 V_{CE} 和 I_C 的关系，就是图 1 中连接 A 和 B 点的直线。

A 点是 $V_{CE} = 0$ 的点，这时由于 $V_C = R_L I_C$，所以 $I_C \approx V_C / R_L$。B 点是 $I_C = 0$ 的点，这时 $V_{CE} = V_C$。直线 AB 由连接晶体管的负载电阻 R_L 所决定的，所以称之为**负载线**。

晶体管的集电极电压、集电极电流的位置总是在这条直线的某一点上，从负载线可以知道，输出电压、电流的波形或者失真情况等与输入信号波形的对应关系。

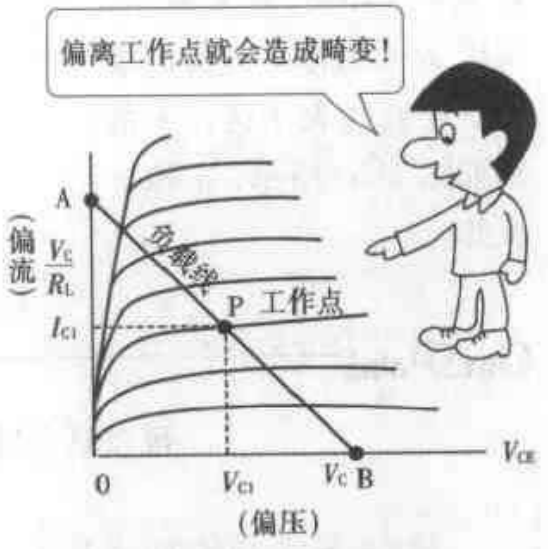


图 1　负载线与工作点

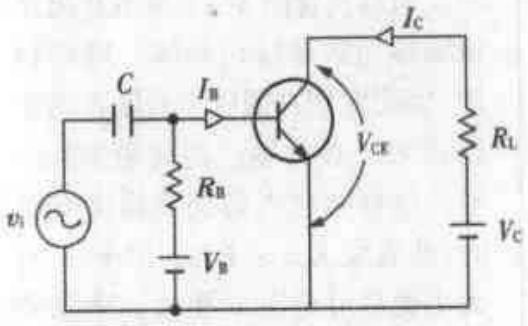


图 2　基本放大电路

不加信号 v_i 时的直流电压、电流的位置称为**工作点**，它对决定偏压是



非常重要的。如图 1 所示，为了无失真地放大信号，一般总是取负载线的中点为工作点(P 点)。

计算方法

设图 2 所示的晶体管放大电路的 V_{CE}-I_C 特性曲线如图 3 所示：

①绘出 $V_C = 12$ [V]，$R_L = 6$ [kΩ] 时的负载线。

②如选择工作点 P 在负载线的中间，那么 V_{CE}、I_C、I_B 各为多少?

解 ①负载线为连接 A 点和 B 点的直线，如图 4 所示。A 点（$I_C = V_C / R_L = 12/6\times10^3 = 2$ [mA]），B 点（$V_{CE} = V_C = 12$ [V]）。

②工作点 P 的位置为 $V_{CE} = 6$ [V]，$I_C = 1$ [mA]，$I_B = 20$ [μA]。

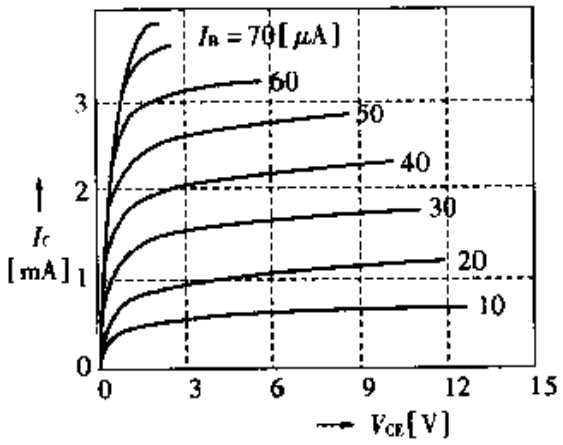


图 3 V_{CE}-I_C 特性

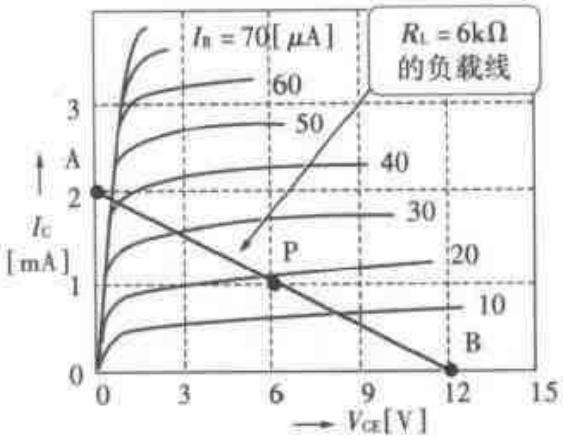


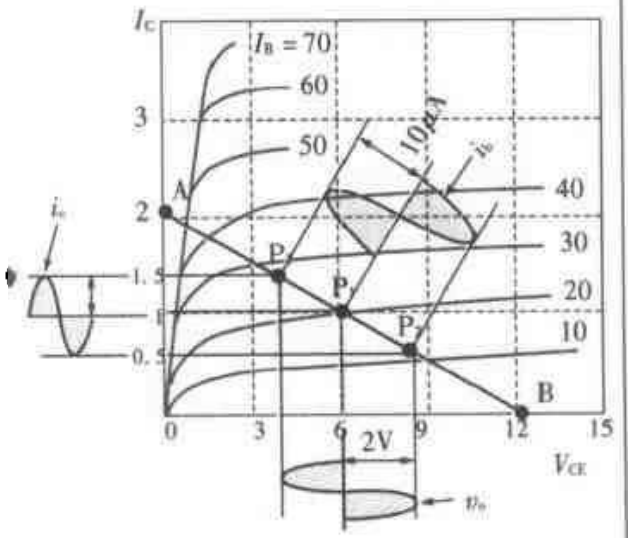
图 4 R_L = 6kΩ 的负载线与工作点

One Point

信号波形与输出波形

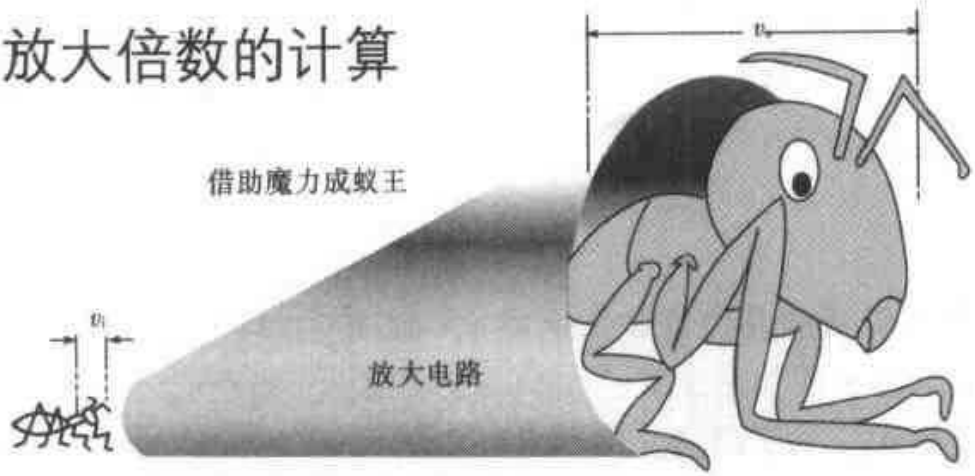
问 试利用图 4 所示负载线来确定与输入信号波形相对应的输出电压波形的变化情况。

答 当基极电流以 20μA 为中心在 ±10μA 范围内变化时，集电极电流 i_c 则沿着负载线在 ±0.5μA 的范围内变化。这时用作图法画出的电压 v_o 的变化如右图所示，其振幅约为 2V，与输入信号电压 v_i 相比，这个值已经是相当大了。



与基极电流 i_b 变化对应的输出电压 v_o 的变化

6 放大倍数的计算



电压、电流、功率的放大倍数

如图 1 所示，当晶体管的基极加输入信号电压 v_i 时，集电极端的负载电阻 R_L 得到输出电压 v_o。放大电路部分可以看成是“具有输入和输出四个端子的暗箱”。

这里我们将输出电压 v_o 和输入电压 v_i（最大值）的比值 v_o/v_i 称为电压放大倍数，用 A_v 表示。对电流和功率也可同样表示，即用电流放大倍数 A_i 表示输出电流 i_o 和输入电流 i_i 之比 i_o/i_i，用功率放大倍数 A_P 表示输出功率 P_o 和输入功率 P_i 之比 P_o/P_i。

以图 1 所示电路的数值为例所求得的各种放大倍数，其结果示于图 2。

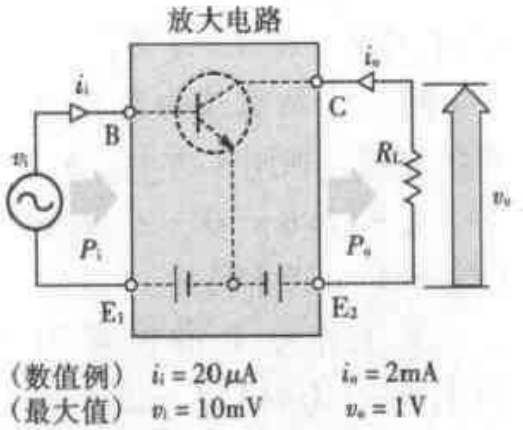


图 1 放大电路的四端网络表示法

求放大倍数

（电压放大倍数 A_v）

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{10 \times 10^{-3}} = 100$$

（电流放大倍数 A_i）

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{2 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 100$$

（功率放大倍数）用有效值表示

$$P_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 20 \times 10^{-6} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 10 \times 10^{-3} = 0.1\mu W$$

$$P_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 1 = 1mW$$

$$\therefore A_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{10^{-3}}{0.1 \times 10^{-6}} = 10\,000$$

图 2 放大倍数的计算

何谓基极输入阻抗

从上述实例计算可知，不仅电压、电流，就是功率也可以放大。

图 3 中，因 v_i 而产生电流 i_b 的现

象表明，在 B 和 E_1 之间存在着某个阻抗，用 h_i 表示该阻抗，则下式成立

$$h_i = v_i / i_b \quad 或 \quad v_i = h_i / i_b$$

h_i 称为发射极接地时的输入阻抗。

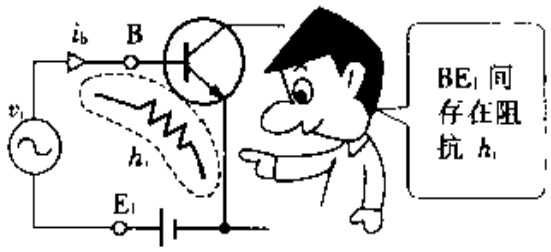


图 3 $h_i = v_i / i_b$

如前所述，输出信号电压 v_o 可以用 $v_o = R_L / i_c$ 表示，由于电压放大倍数 A_v 为 v_o 和 v_i 之比，则有

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L i_c}{h_i i_b}$$

因为 $i_c / i_b = h_{fe}$，所以 $A_v = h_{fe}(R_L / h_i)$，该式对于求电压放大倍数是非常重要的公式。

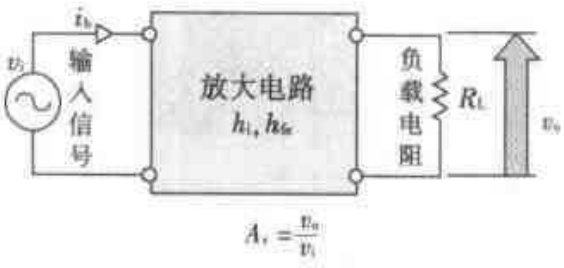


图 4 放大倍数 A_v 的计算

例题 在图 4 所示的四端网络所表示的电路中，当给出以下数值时，求电压放大倍数。

$h_i = 10\ [\mathrm{k\Omega}]$　$h_{fe} = 100$　$R_L = 10\ [\mathrm{k\Omega}]$　$v_i = 100\ [\mathrm{mV}]$

解

$$i_b = \frac{v_i}{h_i} = \frac{100 \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 1 \times 10^{-5}\ [\mathrm{A}]$$

$$v_o = R_L i_c = R_L h_{fe} i_b = 10 \times 10^3 \times 100 \times 1 \times 10^{-5} = 10\ [\mathrm{V}]$$

$$\therefore \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{10}{100 \times 10^{-3}} = 100$$

One Point

放大倍数和增益的关系

放大电路的放大倍数一般多以分贝（dB）为单位表示。以分贝为单位表示的电压、电流、功率等放大倍数称为增益。其关系如下式所示

电压增益　$G_v = 20\log_{10} A_v$（dB）　电流增益　$G_i = 20\log_{10} A_i$（dB）

功率增益　$G_P = 10\log_{10} A_P$（dB）

以图 4 为例计算，因为

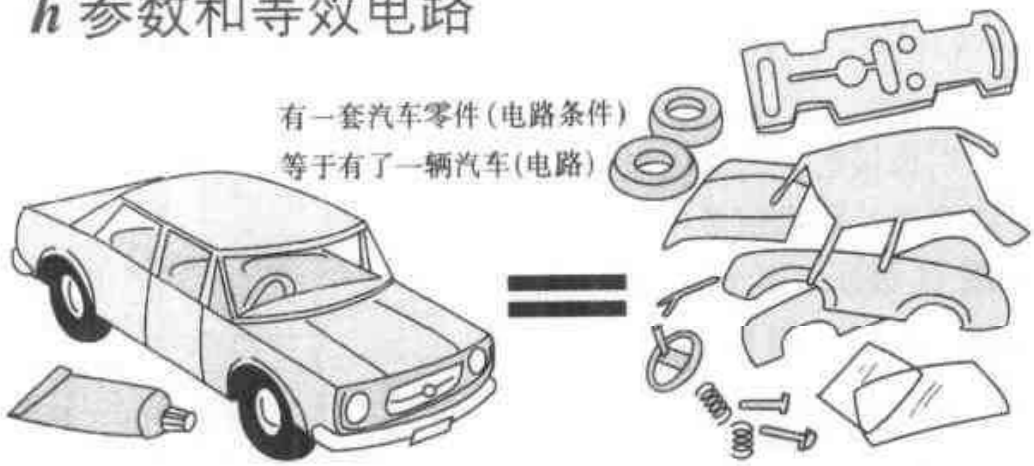
$A_v = A_i = 100$　$A_P = 1000$

所以

$G_v = G_i = 20\log_{10}100 = 20 \times 2 = 40\ [\mathrm{dB}]$

$G_P = 10\log_{10}1000 = 10 \times 3 = 30\ [\mathrm{dB}]$

7 h 参数和等效电路



何谓 h 参数

与晶体管具有同样功能的其它电路称为晶体管的等效电路。现将共发射极接法的晶体管电路换成四端网络，如果知道输入电压 v_i、输入电流 i_i、输出电压 v_o、输出电流 i_o 之间的关系，就可以利用等效电路知道该电路的性质(图 1)。

为了利用等效电路，需要有表示上述 v_i、i_i、v_o、i_o 之间关系的 h 参数。

h 参数是由图 1、图 2 和图 3 中的公式(1)～(4)来定义的常数，不过其参数值会因测量条件不同而不同，其大致范围为：

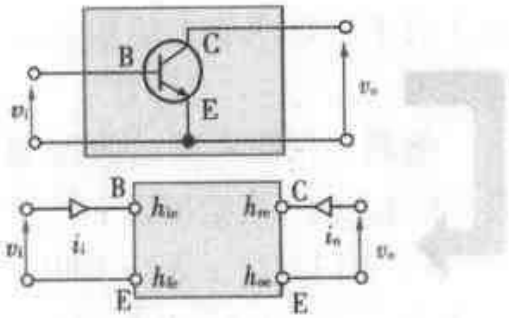
h_{ie}：数千欧　　h_{fe}：50～500

h_{re}：1×10^{-4}

h_{oe}：$10\times10^{-6}\sim30\times10^{-6}$ [S]

用 h 参数表示等效电路

若将上节的基本放大电路用 h

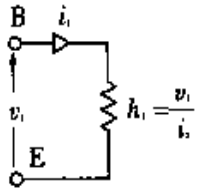


$$h_{ie}=h_i=\frac{v_i}{i_i}\quad\cdots\cdots(1)$$

(算式中若加绝对值符号，则表示参数值大小)

图 1　晶体管电路的四端网络表示法

若已知基极电流 i_i 和输入电压 v_i，则由欧姆定律可以求得输入阻抗 $r_i=v_i/i_i$，用 h_i 表示 r_i 即得到一个 h 参数，h_{ie} 的下标 e 表示发射极 e 接地，下同。



$$h_{fe}=h_r=\frac{i_o}{i_i}\quad\cdots\cdots(2)$$

这里的 h_{fe} 是电流放大系数

(1) 和 (2) 式为基极侧的 h 参数，其数值为输入端加有 v_i 而集电极短路($v_o=0$)时的测量值。

图 2　h 参数的意义

参数转换成等效电路，其电路如图 4 所示。

也就是说，对于基极一侧来说，由于电路对外加输入电压 v_i 有一个输入阻抗 h_{ie}，所以可以看成是流入了一个基极电流 i_i；而对集电极一侧来说，可以看成是一个输出电流为 h_{fe} 倍 i_i 的发电机（电流源），其产生的电流值就是集电极电流 i_o，而 i_o 在负载电阻 R_L 两端产生输出电压 v_o。包含在电源中的集电极内阻为 $1/h_{oe}$，它与电流源相并联。这样就完成了等效电路。

利用该等效电路，可以求得各个放大倍数（h_{oe} 可省略）

$$A_i = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o R_L}{v_i} = \frac{i_o R_L}{i_i h_{ie}} = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} R_L$$

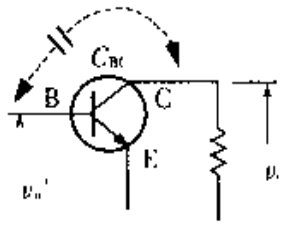
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{h_{fe} i_i}{i_i} = h_{fe}$$

$$A_P = \frac{i_o^2 R_L}{i_i^2 h_{ie}} = \frac{h_{fe}^2}{h_{ie}} R_L = A_v A_i$$

上述各式为近似计算式，但在处理实际问题时利用它们已足够了。另外要注意，晶体管的 h 参数的数值因接地方式不同而异。

$$h_{re} = h_r = \frac{v_o'}{v_o} \cdots\cdots (4)$$

由于 BC 间存在电容 C_{BC}，v_o 的一小部分 v_o' 被反馈到基极一侧，h_r 称为电压反馈系数。



(3)、(4)式为基极断开（$i_i = 0$），集电极加有电压 v_o 时的数值。

图 3　h 参数的意义

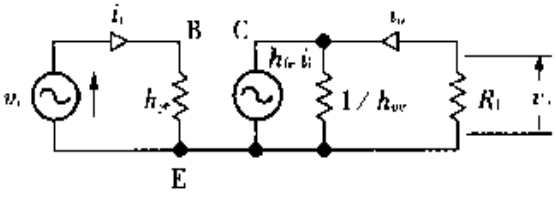


图 4　等效电路

One Point

从 h 参数求放大倍数

问　设 h 参数的值为 $h_{ie} = 3\ [\mathrm{k\Omega}]$，$h_{fe} = 120$，$R_L = 4\ [\mathrm{k\Omega}]$，求各个放大倍数。

答　$A_v = \dfrac{h_{fe}}{h_{ie}} R_L = \dfrac{120}{3 \times 10^3} \times 4 \times 10^3 = 160$　　$A_i = h_{fe} = 120$

$A_P = A_v A_i = 160 \times 120 = 19200$

8 偏置电路



怎样产生偏置

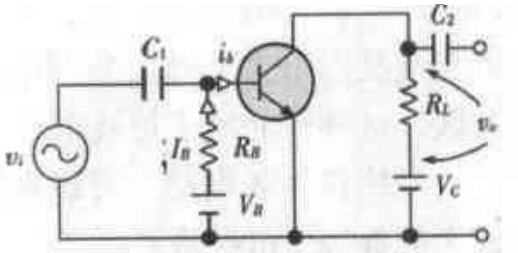
在图 1 所示电路中，输入信号 v_i 将产生基极电流 i_b，但条件是应加一个能使输入信号总是为正值的偏置电压 V_B。R_L 上所产生的输出电压的交流分量 v_o 可以通过电容器 C_2 取得。

该电路中使用了两个直流电源。也可以使用一个电源 V_C 在产生集电极电流的同时，产生基极电流 I_B。图 2 的电路中，采用了一个高值电阻 R_b 来实现偏置，这种方式称为**固定偏置法**。

另外，采用图 3 所示的 R_1、R_2 两个电阻对 V_C 分压，使 B-E 间直流电压约为 0.6V，这样的电路方式称为分压偏置法。这种偏置方法能否进行稳定的放大？这个问题并不简单。

晶体管由于受温度影响或因电源波动，其工作点容易变化，因而需要有更稳定的偏置电路。

作为常用电路的实例，我们来看



由两个直流电源构成

所谓偏置就是在待放大的信号输入端（对于发射极接地方式而言，接在 B、E 之间），预先加一定的直流电流或直流电压。

图 1　偏置电路的思路

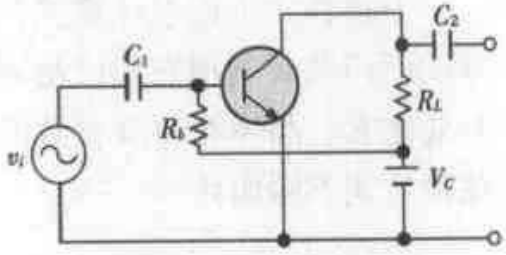


图 2　固定偏置

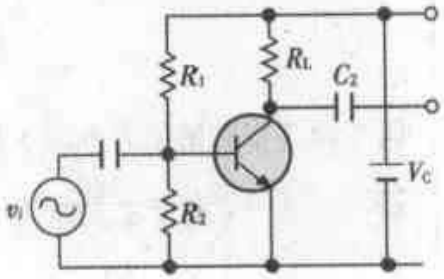


图 3　分压偏置

图 4 所示的电流反馈型偏置电路的工作原理。

在图 3 所示电路中，通常给发射极再接一个电阻 R_3 来稳定偏压。也就是说，如果由于温度上升使发射极电流增大，则发射极电压 V_E 增大。但 V_B 由 V_C 通过 R_1、R_2 的分压决定，是固定值，所以 $V_B - V_E$ 就变小了。

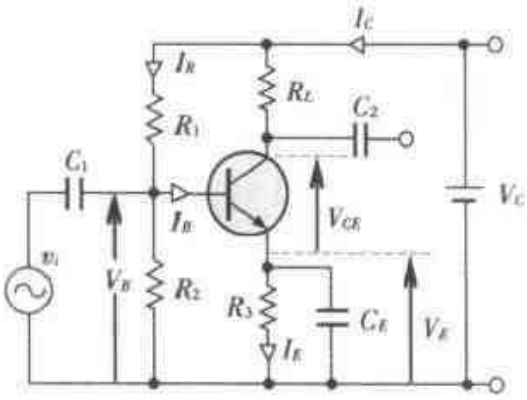


图 4　电流反馈型偏置电路

用电流反馈来稳定偏置

如图 5 所示，我们注意到基极 - 发射极之间，实际所加的电压就是 $V_B - V_E$，所以基极电流随之减小。从而防止了因温度上升造成的集电极电流增大。

但是由于 R_1、R_2 是与输入信号并联接入的，所以它的缺点是输入阻抗低。

这种情况下的发射极电流 I_E 为

$$I_E = \frac{V_E}{R_3}$$

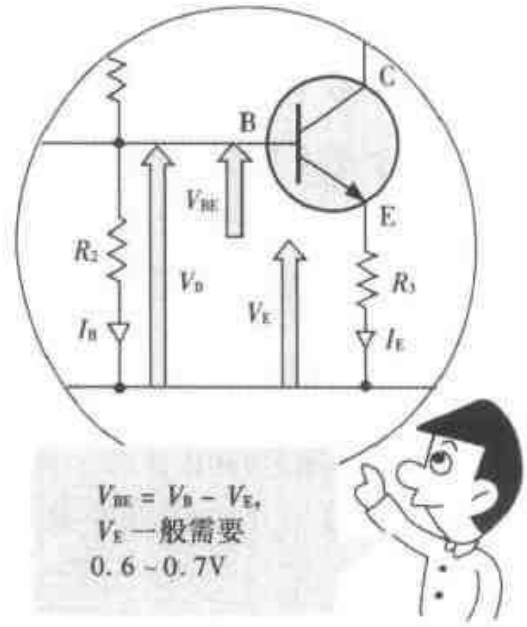


图 5　V_{BE} 与 V_E 和 V_B 的关系

One Point

电流反馈偏置的简单计算方法

多数场合只要知道偏置电压、电流的大概数值就可以了。这时，偏置电压、电流的简单计算方法可以图 4、图 5 所示为基础来计算。

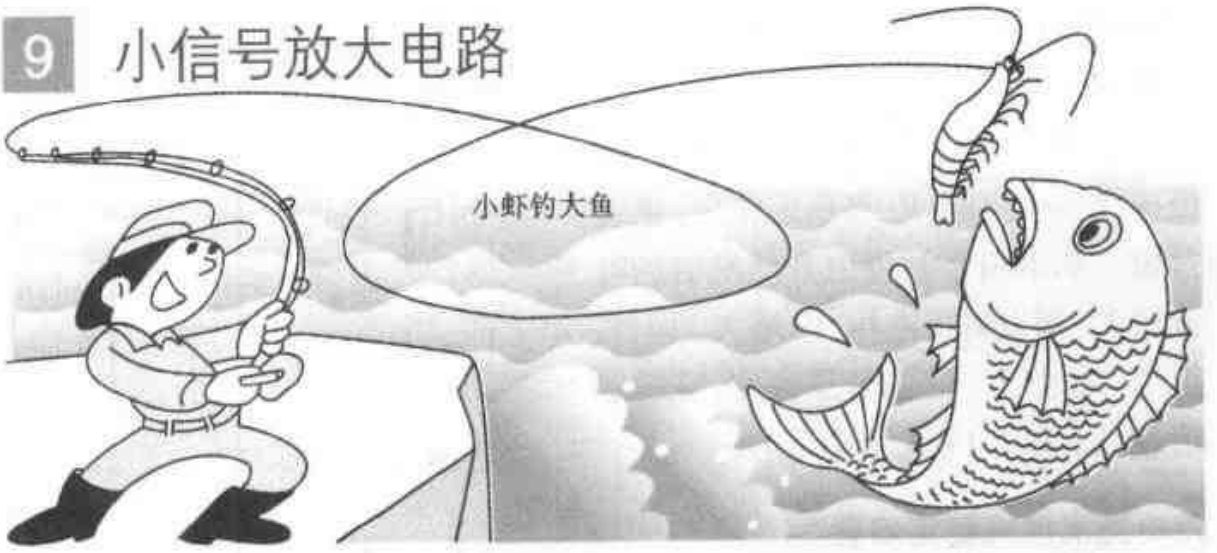
由于基极电流 I_B 比 I_R、I_E、I_C 小得多，可以忽略不计，于是可得下列 (1) ~ (4) 式

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_C \quad \cdots\cdots(1) \qquad I_E = \frac{V_E}{R_3} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$V_{BE} = V_B - V_E \quad \cdots\cdots(2) \qquad V_{CE} = V_C - I_E R_L - I_E R_3 \quad \cdots\cdots(4)$$

以上公式在实际计算偏置电流、偏置电压时是十分有用的。

9 小信号放大电路



RC 耦合放大电路

晶体管放大器中的代表性电路是低频放大器。所谓低频是相对高频而言，尚无更明确的意义，一般多指数十赫[兹]～十几千赫[兹]的音频。无线电广播中的音频输出功率很弱，是小信号，放大这些信号的电路称为**小信号放大电路**。

图 1 所示的 *RC* 耦合放大电路是常用的小信号放大电路。

这种电路利用电容器 C_3(耦合电容)可将前级的交流输出信号（R_3 两端的电压)送入下一级的基极，从而构成多晶体管串联的放大器。图 1 示出

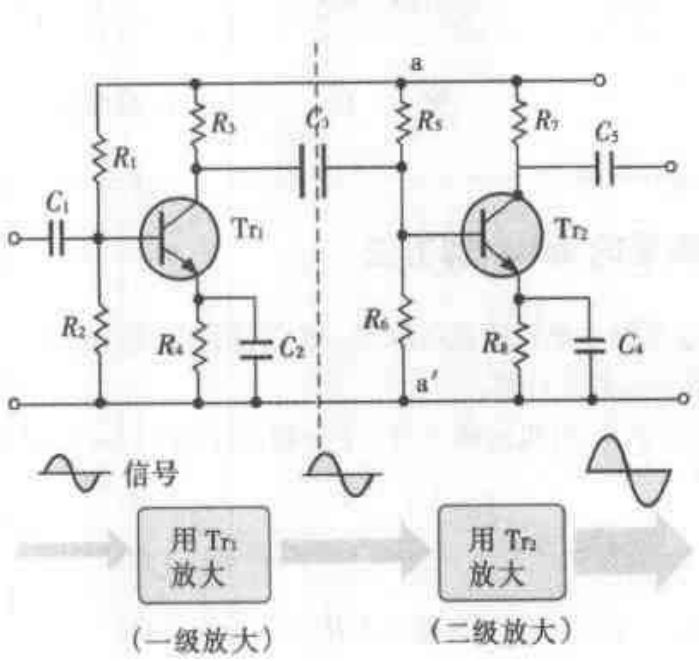


图 1　*RC* 耦合二级放大电路

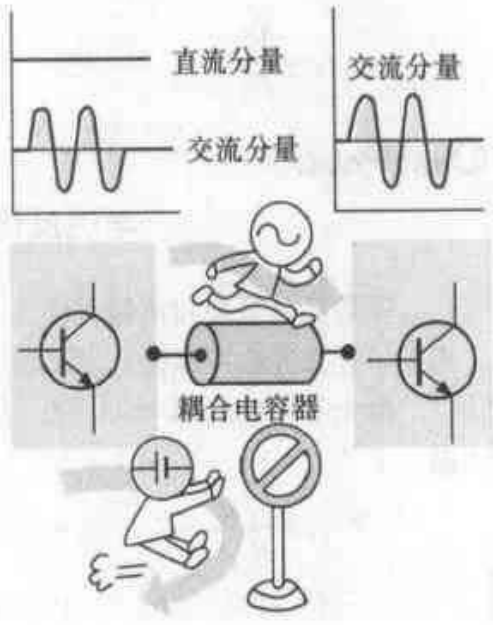


图 2　隔直电容器

RC 耦合二级放大器的常用电路。如果用图中的虚线把电路分成前后两个部分，就可看出它是由两个相同电路串联而成的。

耦合电容器 C_3 除了将交流输出电压送至下一级之外，还有隔直流作用，如图 2 所示。

电路中各元件的作用是：

R_1、R_2、R_5、R_6……Tr_1 和 Tr_2 的基极偏置电阻

R_3、R_7……集电极负载电阻，产生输出电压

R_4、R_8……稳定晶体管偏压的发射极电阻

C_1、C_3、C_5……耦合电容器，隔断直流，让交流信号通过

C_2、C_4……旁路电容，使交流分量不通过 R_4、R_8

变压器耦合放大电路

晶体管一般都是输入阻抗低，输出阻抗高，所以若多级放大器直接串联，每级的功率增益都低。采用图 3 所示的在输入输出端用变压器来实现阻抗匹配的电路，称为**变压器耦合放大电路**。由于负载不通过直流，电源电压可有效利用，所以用低电压、电流就可获得大的功率增益和大的输出功率。

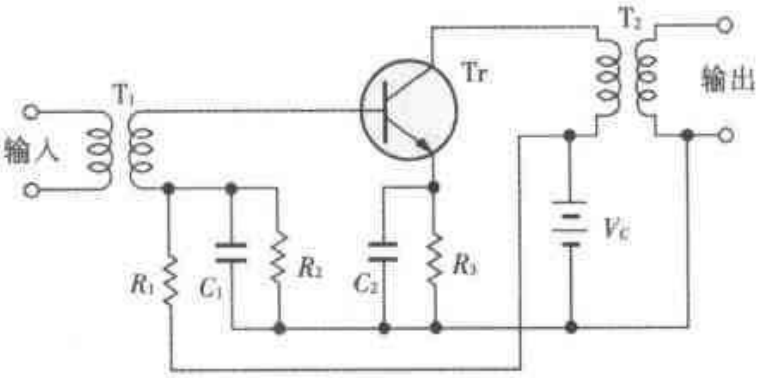


图 3 变压器(T_1、T_2)耦合放大器

One Point

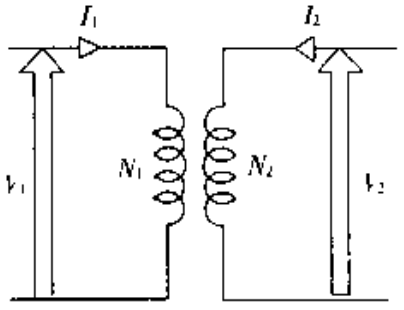
变压器耦合电路是按匝比平方来变换阻抗的

右图中因为 $V_1I_1 = V_2I_2$ 成立，所以

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = n \text{（匝数比）}$$

从次级看到的阻抗 Z_1 为

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{nV_2}{I_2/n} = n^2\left(\frac{V_2}{I_2}\right) = n^2Z_2$$



10 负反馈电路



负反馈的必要性

欣赏立体声录音时，要获得好的临场效果，就得有高保真的放大器。有一种电路能够降低噪声、稳定增益特性、抑制电路参数等变化的影响，这就是负反馈电路。

所谓**负反馈电路**（negative feedback circuit）就是将放大电路输出的一部分按削弱输入信号的方向（反相位）返回输入侧的方法。你也许会不理解，为什么要减小好不容易放大的信号呢？实际上，由于这种减小可以通过选用高 h_{fe} 晶体管或增加放大级数来得到补偿，所以这是一种比什么措施都能更好地减小失真、提高稳定性的重要电路（图 1）。

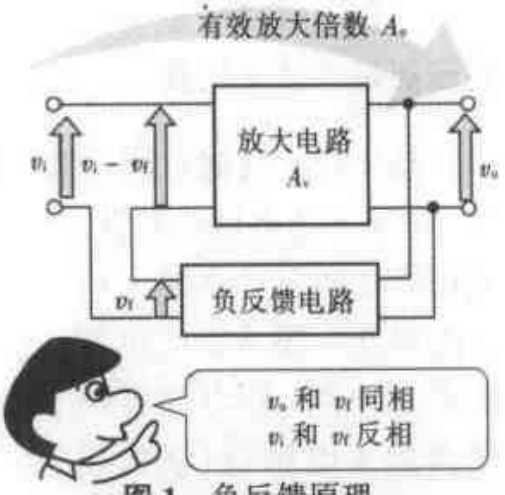


图 1　负反馈原理

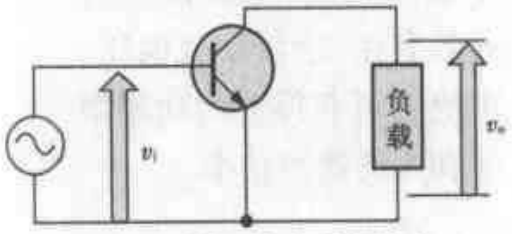


图 2　发射极接地单级放大

负反馈电路的工作原理

图 2 是一般的发射极接地单级放大电路简图，电压放大倍数 $A_v = v_o / v_i$。如前所述，v_i 和 v_o 是反相的。如果像图 3 那样在电路负载上并联接入大电阻 R_1、

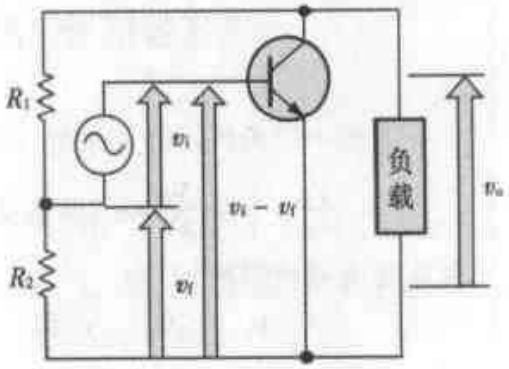


图 3　负反馈电路的原理

R_2，就构成了负反馈的原理电路。由图可知，R_2 两端的电压 v_f 与输出电压 v_o 同相，其大小与 v_o 成比例，其比值为 $\beta = R_2/(R_1 + R_2)$。

$$v_f = v_o R_2/(R_1 + R_2)$$

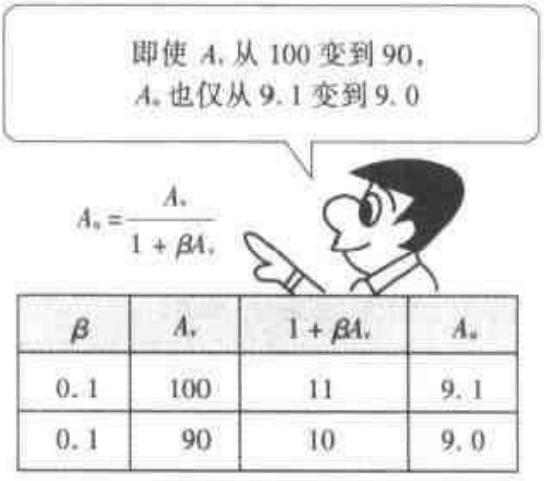
因而，如将输入信号电压 v_i 的下端接于 R_1、R_2 的连接点，加在晶体管基极上的电压就为 $v_i - v_f$，将 $v_f = \beta v_o$ 代入，基极电压就是 $v_i - \beta v_o$（图 3）。

这样，负反馈电路就将输出的一部分回送到了输入端，而由晶体管将 $v_i - \beta v_o$ 放大 A_v 倍得到

$$v_o = A_v(v_i - \beta v_o)$$

$$\therefore \quad \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v} = A_v \frac{1}{1 + \beta A_v} = A_0$$

A_0 称为有效放大倍数。上式表明，因为有负反馈，原来的放大倍数 A_v 降低到了 $1/(1 + \beta A_v)$。当 βA_v 足够大时，就有 $A_0 \approx A_v(1/\beta A_v) = 1/\beta$。这是一个非常重要的结论：有效放大倍数只决定于由 R_1 和 R_2 所决定的系数 $1/\beta$，而与 A_v 无关（图 4）。



β	A_v	$1 + \beta A_v$	A_o
0.1	100	11	9.1
0.1	90	10	9.0

图 4 负反馈电路放大倍数的稳定性

One Point

计算验证负反馈电路的高保真度

问　求 $A_v = 1000$ 的放大电路上有 $\beta = 0.02$ 的负反馈时的有效放大倍数 A_0，然后计算当 A_v 降低 10% 时 A_0 变化的百分数。

答　$$A_{01} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v} = \frac{1000}{1 + 0.02 \times 1000} = 47.6$$

如 A_v 降低 10%，则

$$A_{02} = \frac{900}{1 + 0.02 \times 900} = 47.4$$

$$\frac{A_{02}}{A_{01}} \times 100 = \frac{47.4}{47.6} \times 100 = 99.5\ [\%]$$

所以 A_0 变化了 0.5%。

[注]　即使晶体管的特性和周围温度发生一定变化，负反馈放大器的有效放大倍数也几乎不变。如图 4 所示，它是极为稳定的。



11 功率放大的方法



从声音大小就知道放大程度不同

大信号放大电路的特点

话筒、拾音器等微弱的音频信号电压是经放大后送给扬声器的，与扬声器相连的末级放大器必须有足够大的输出功率，而功率是电压和电流的乘积，这就要求电压和电流都要足够大。

为了与上节所述小信号放大电路相区别，这种用于末级放大的放大电路称为**大信号放大电路**。末级大信号放大器的晶体管至少应能输出 1～2W 的功率，同时还应注意到电源加给晶体管的直流功率并不能全部转变为音频功率。

例题 在图 1 所示的放大电路中，设集电极电压 $V_C = 15[\mathrm{V}]$，集电极电流 $I_C = 10[\mathrm{mA}]$（直流），负载电阻 $R_L = 1[\mathrm{k\Omega}]$，现将图 1(b) 所示的 $i = 3[\mathrm{mA}]$（正弦交流有效值）叠加在该直流电流上，求在负载电阻 R_L 上产生的交流信号功率为多少？它相当于直流功率的百分之几？

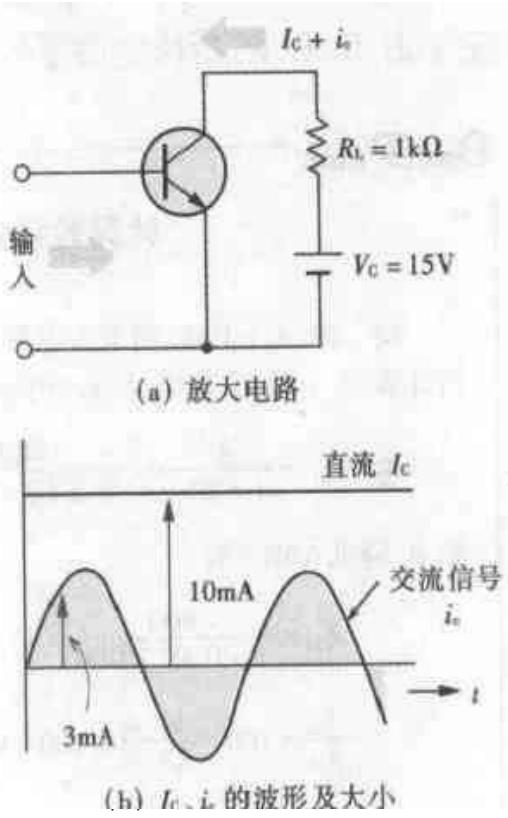


图 1 放大电路与电流波形

解 1kΩ 负载电阻上产生的交流信号功率 P_{ac} 为

$$P_{ac} = i_c^2 R_L = (3\mathrm{mA})^2 \times 1\mathrm{k\Omega}$$
$$= (3 \times 10^{-3})^2 \times (1 \times 10^3)$$
$$= 9 \times 10^{-3}[\mathrm{W}] = 9[\mathrm{mW}]$$

从直流电源取得的直流功率为（在晶体管大信号放大器中，最需要注意的问题是处理大功率关系所带来的温度特性问题）

$$P_{DC} = I_C V_C = 10 \times 10^{-3} \times 15 = 150 \times 10^{-3}\ [\mathrm{W}] = 150\ [\mathrm{mW}]$$

所以 $P_{ac} / P_{DC} = 9/150 = 0.06 = 6\ [\%]$

答　图 1 所示电路中，交流信号功率仅占直流功率的 6%。

A 类功率放大电路

图 2 示出了 A 类功率放大电路，它具有电路简单和失真小的特点。

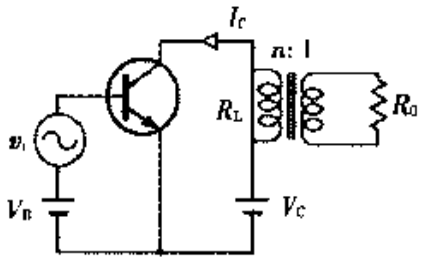


图 2　A 类功率放大电路

该电路采用变压器与负载耦合。

从直流来看，线圈的电阻非常小，直流负载为零。从交流来看，输出变压器次级负载 R_0 以其 n^2 倍出现在初级，故交流负载 R_L 为 $R_L = n^2 R_0$。

它的工作情况可以从 V_{CE}-I_C 特性曲线图上求得。如图 3 所示，工作点如果取在负载线的中央，就可得到最大输出电压。此时 $I_C = V_C / R_L$。

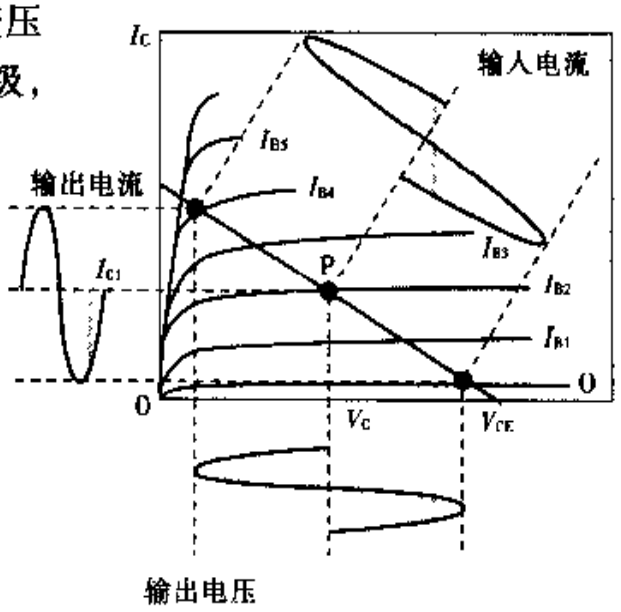


图 3　A 类功率放大电路工作点的确定

所以，如果采用 A 类放大，即使在无信号输入时，晶体管中也有相当大的直流电流流过，功率损耗大。所以 A 类放大电路只作为小功率放大电路使用。

One Point

最大输出功率的计算方法

问　在 A 类功率放大电路中，当负载一定而电源增加到 2 倍时，最大输出功率为多少倍？

$$P_o = \frac{V_C}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_C}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} V_C I_C = \frac{V_C^2}{2R_L}$$

答　因 P_o 与 V_C 的平方成正比，故输出功率为 4 倍。

12 B 类推挽放大器



大锅要盖大盖子，
小锅要盖小盖子。



B 类推挽功率放大器的工作原理

B 类放大(图 1)仅当有输入信号时集电极才有电流流过，因而没有无谓的功率损耗，电源利用率高(参见下节)。

B 类推挽功率放大器的集电极损耗小，输出失真也不大，在收音机和立体声放大器方面得到了广泛应用。

现用图 2 来说明 B 类推挽

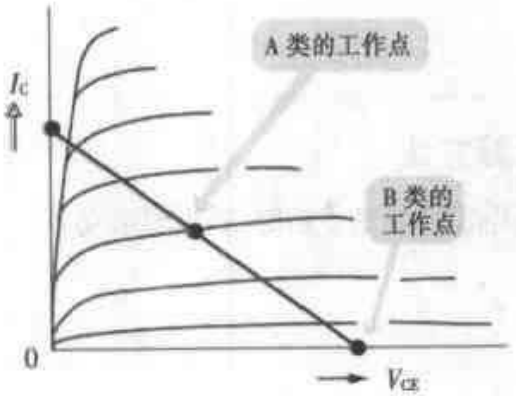


图 1　A 类和 B 类的工作点

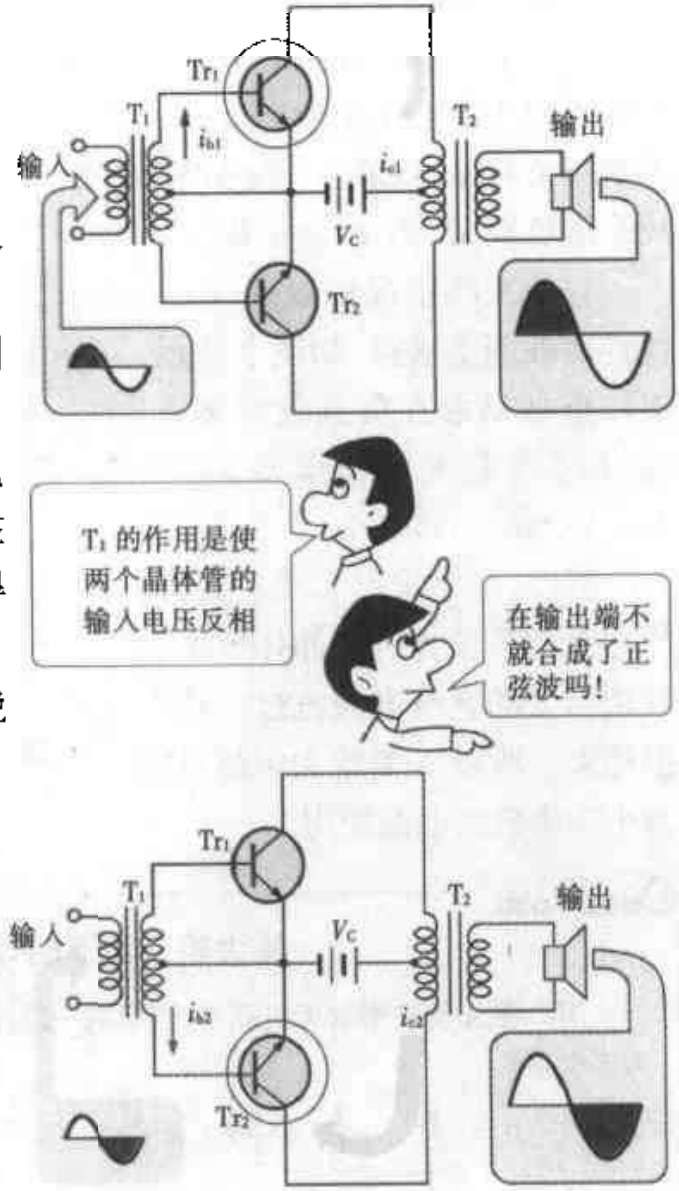


图 2　B 类推挽功率放大器的原理

功率放大器的工作原理。

如电路图所示，由于两个晶体管的电路是上下对称的，故两管每半个周期交替工作一次。

上半周，Tr_1 的基极加有正电压，所以 Tr_1 有基极电流流过，而此时 Tr_2 基极上为反向电压，所以 Tr_2 截止。下半周则相反。此后，这种情况周而复始的进行。

在输出端，则是合成的正弦波，如图 2 所示。

电源效率高

这种 B 类放大器的最大输出功率 P_{max} 可从输出电压的最大值 V_C 和输出电流的最大值 I_C 的有效值之积求得

$$P_{max}=\frac{V_C}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_C}{\sqrt{2}}=\frac{1}{2}V_C I_C=\frac{V_C^2}{2R_L}\quad\left(\text{因为}\quad I=\frac{V_C}{R_L}\right)$$

电源所提供的功率 P_{DC} 为电源电压 V_C 乘以输出电流 i_c 的平均值（见图 3），即

$$P_{DC}=V_C\frac{2}{\pi}I_C=\frac{2}{\pi}V_C I_C$$

最大输出状态下电源的效率 η 为 P_{max} 与 P_{DC} 之比

$$\eta=\frac{P_{max}}{P_{DC}}=\frac{\frac{1}{2}V_C I_C}{\frac{2}{\pi}V_C I_C}=\frac{\pi}{4}\approx 0.78$$

即相当于 78%。

电源供给的功率 P_{DC} 与输出 P_{max} 之差越小，效率就越高。

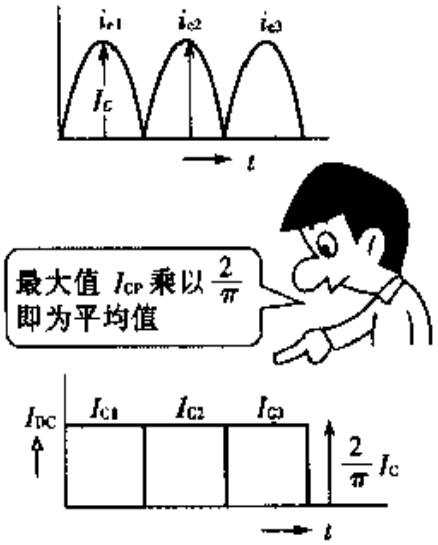


图 3　输出电流可认为是平均值

One Point

B 类推挽放大器的优点

（1）输出是在输出变压器的副边合成的，即使晶体管的输出有一些失真，合成后的波形失真也会变小。

（2）流过 T_2 的输出电流 i_{c1}、i_{c2} 的直流分量方向相反，所以它的优点是对变压器铁芯不产生磁化。

13 高频放大电路



骑手与马的步调不协调就会颠下来

高频放大器的特点

转动收音机调谐旋钮，使之与某个特定电台的发射频率一致，该频率附近的电波被放大，就可听到这个电台的节目了。这里被放大的电波是高频信号，这就是高频放大的作用(图 1)。



图 1　听收音机

高频放大电路需要考虑一些低频放大中未曾考虑的新问题，这就是各种数值会随频率的升高而变化。其--是集电极 - 基极间的静电电容（集电结电容）问题，在基极接地的电路中其大小约为几皮法（pF），而在发射极接地的电路中可大到数百皮法(图 2)。

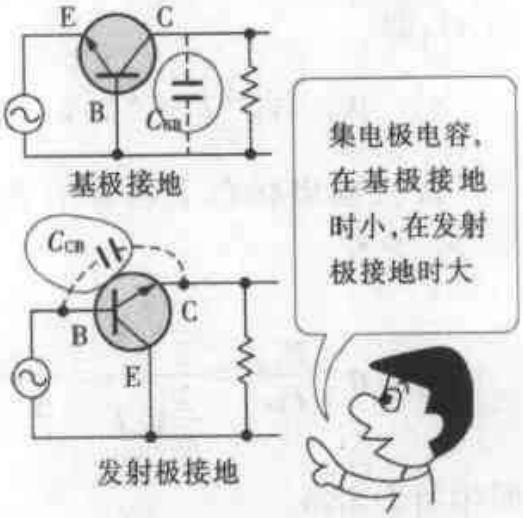


图 2　不同的集电结电容

另一个重要问题是当频率高于某值时，电流放大系数 h_{fe} 会减小(图 3)。h_{fe} 减小到低频时的 0.707 倍(3dB) 时的频率称为 α 截止频率 $f_{\alpha b}$(基极接地时) 或 β 截止频率 $f_{\alpha e}$

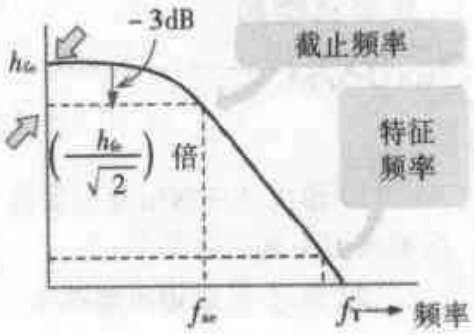


图 3　$f_{\alpha e}$ 和 f_T

(发射极接地时)。$h_{fe}=1$ 时的频率 f_T 称为**特征频率**,是有放大作用的最高频率,f_T 越大的晶体管越适用于高频放大。

高频放大电路的原理

要充分发挥高频放大作用,选用集电结电容小、截止频率高的高频晶体管是十分重要的。

在高频放大器中,采用电阻性负载或低频变压器负载不能获得增益。图 4 是高频放大器的基本电路,由于只需放大某个特定频率,所以输入电路和输出电路都采用由线圈和电容构成的调谐电路。二个调谐电路(或谐振电路)的调谐频率(或谐振频率)应设计为相同。

要改变收音机高频放大器的谐振频率,改变 L 和 C 中哪一个为好呢?通常由于 C 容易改变,故一般采用改变 C 的方法(图 5)。

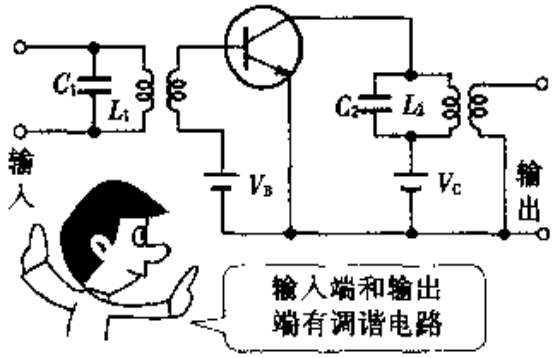


图 4　高频放大电路

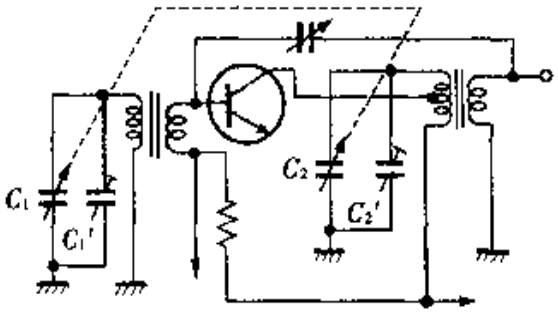
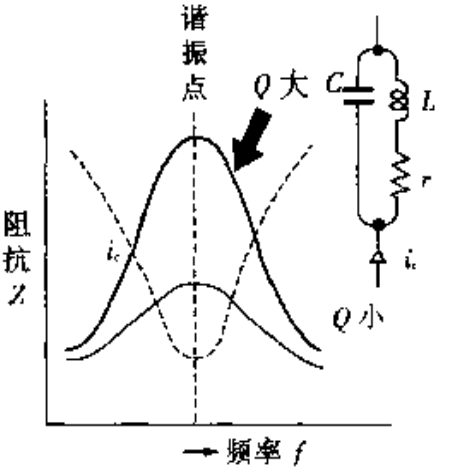


图 5　调谐式高频放大器的实例

One Point

受谐振电路 Q 值左右的特性

因为高频放大电路中有着谐振电路,故谐振电路的 Q 值会左右高频放大器的特性。Q 值是表示线圈优劣的参数,正如右图并联谐振电路的频率 - 阻抗特性曲线所示,Q 值越大,谐振峰就越尖锐。在放大电路中,想要得到频带窄且尖锐的特性,就必须采用 Q 值大的谐振电路。



14 场效应管(FET)放大电路



正确使用 FET

与普通晶体管是电流控制型器件相反，FET 是电压控制型器件。它具有输入阻抗高、噪声低的特点。

使用 FET 必须先定工作点，也就是确定漏极电流 I_D 和栅极 - 源极间电压 V_{GS} 关系曲线上的一个交点。

如图 1 所示，工作点可按，① A 类放大，② AB 类放大，③ B 类放大，④ C 类放大来分类。

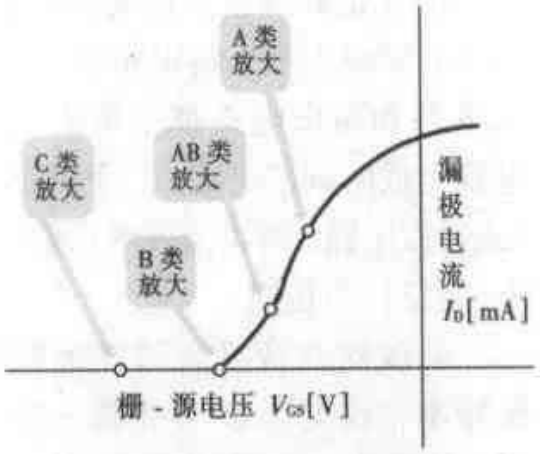


图 1　工作点的分类

要确定工作点，就得给栅极 - 源极间加一个偏置电压 V_{GS}(图 2)。图 3 是耗尽型 FET 的偏置电路的例子，它是给源极串联一个电阻 R_S，利用其电压降来实现偏置。

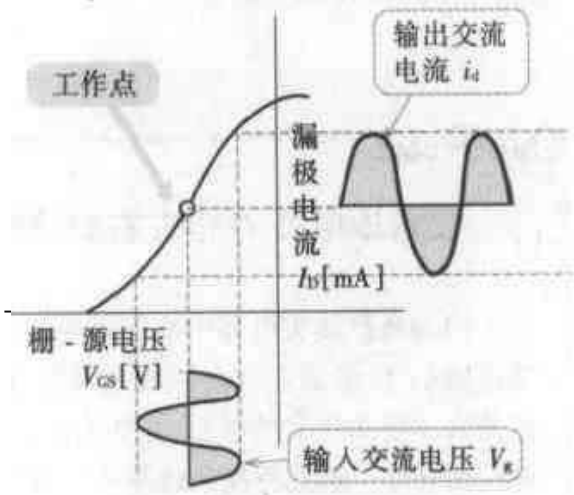


图 2　A 类放大的工作原理

电流 I_D 流过 R_S，R_S 两端产 $I_D R_S$ [V]的电压，因为 FET 的栅极无电流，所以 R_g 上的压降为 0，$I_D R_S$ 即为偏压 V_{GS}。

源极接地电路的基本工作原理

图 4 示出源极接地电路。这个电路中栅极为输入端，漏极为输出端。

当输入交流电压 v_g 按箭头方向增大时，漏极电流 i_d 增加。i_d 的增大使负载上的压降增大，V_{DS} 就下降。反之，如 v_g 与箭头方向相反，V_{GS} 增大，i_d 则减小。而 i_d 的减小使负载上的压降减小，V_{DS} 就上升。图 5 给出了上述波形变化的关系。请注意，v_g 和 i_d 的相位是相同的，而 v_d 则与其反相。

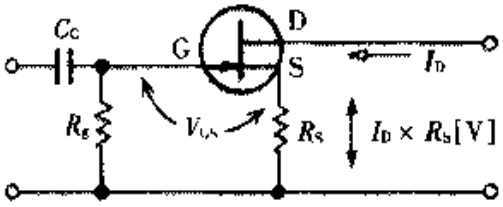


图 3　自偏置电路

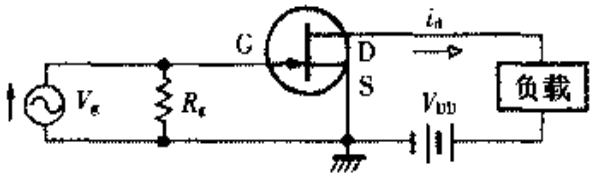


图 4　源极接地电路

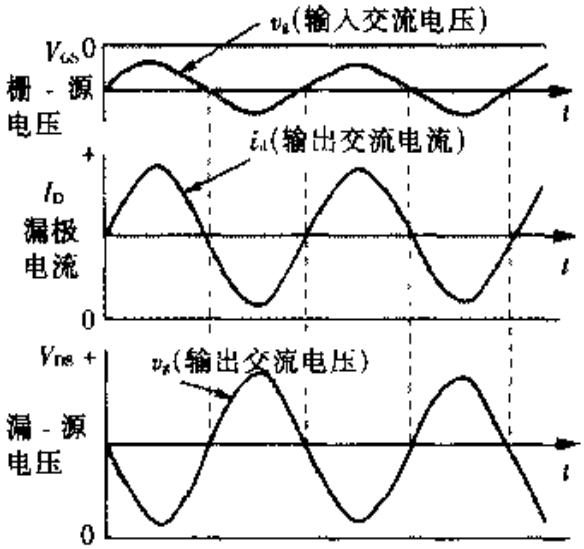
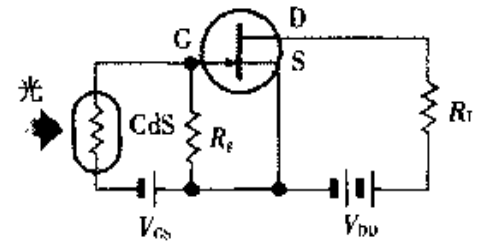


图 5　v_g, i_d, v_d 的关系

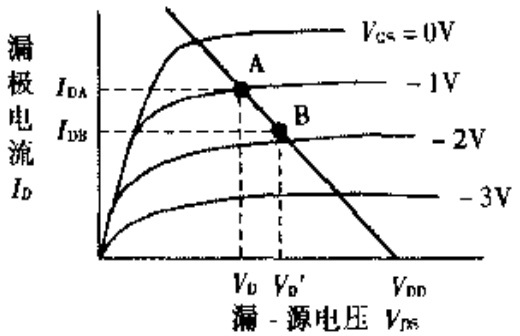
One Point

用 FET 进行直流放大

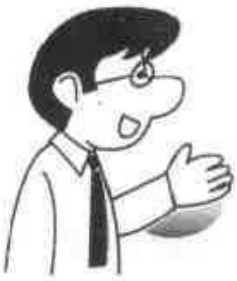
右图是一个光电检测电路。光敏电阻 CdS 在有光照时其电阻值发生变化，这一阻值变化使加在栅极 G 上的直流电压改变。于是输出端的直流电压就反映了输入端的光的变化。该电路是一种直流电路。如右下图所示，假定无光照时 $V_{GS} = -1$ [V]，光照时则变成 $V_{GS} = -2$ [V]。由于漏极电流 I_D 减小(从 I_{DA} 变到 I_{DB})，负载电阻 R_L 两端的电压就从 $I_{DA}R_L$ [V] 变为 $I_{DB}R_L$ [V]，于是光照的变化就以输出电压变化的形式被检测到了。



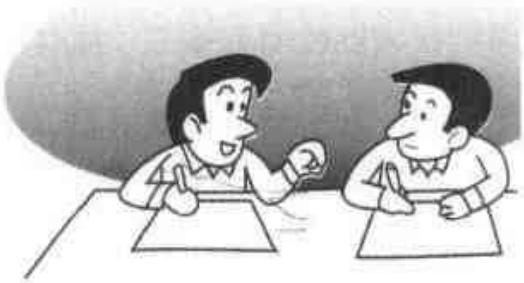
直流放大电路(光检测电路)



I_D-V_{DS} 特性



本章小结

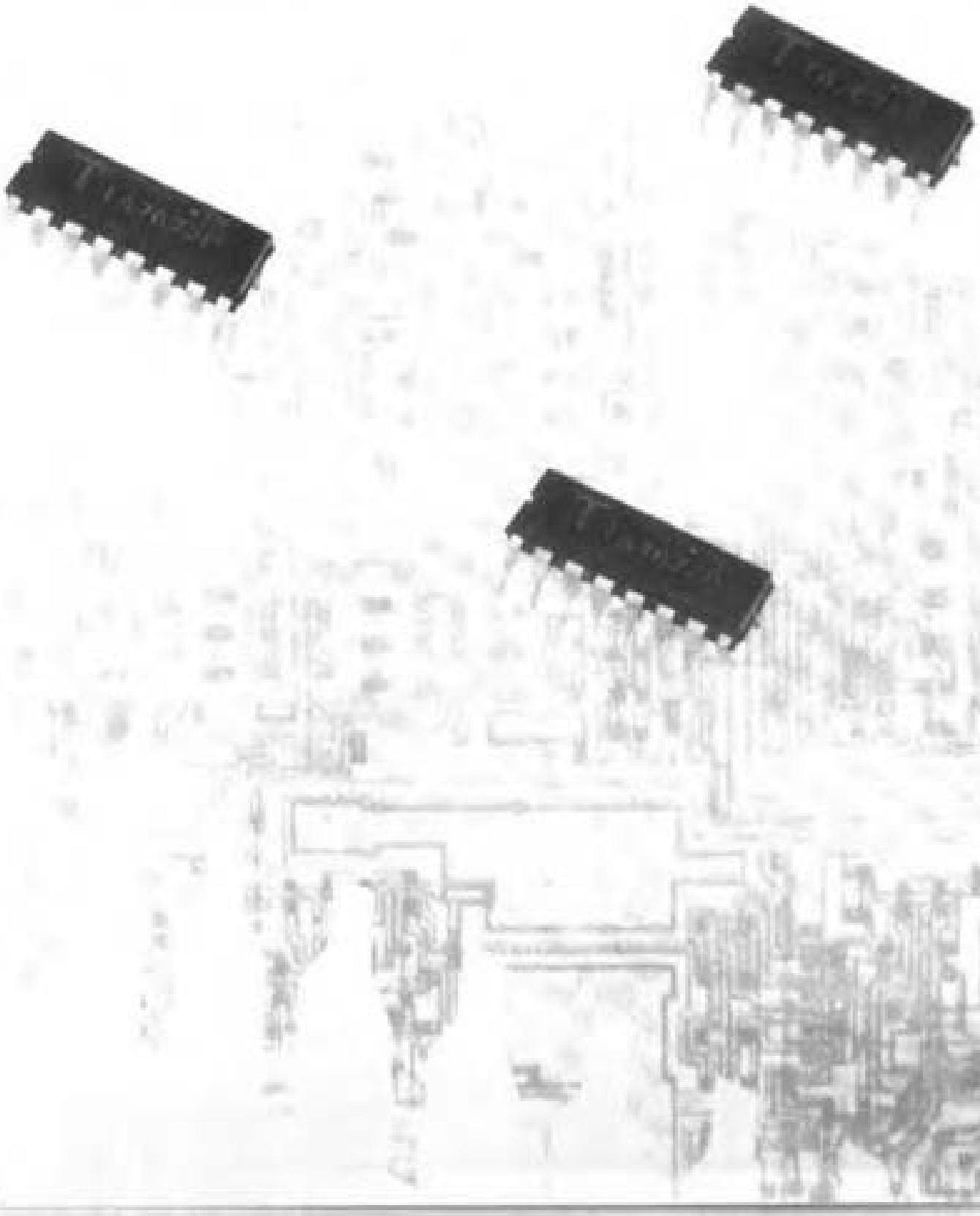


1. “放大信号”并不是扩大信号本身，而是用输入端的小信号控制放大电路输出的大输出信号(p. 63)。
2. 试说明 h_{re} 和 h_{fe} 的区别(p. 64)。
 试计算第 2 节图 4 中 BC 之间的 h_{fe}(仿照该页的例子来做)。
3. 在晶体管的输入端，信号电压上所叠加的固定直流电压称为偏压(p. 67)。
4. 说明第 4 节图 1 所示放大电路原理图中的集电极电流 i_c 与集电极电压 v_o 的波形相位相反的原因。
5. 简单说明在晶体管的 V_{CE}-I_C 特性曲线上画负载线的意义(p. 70)。
6. 请说明电压放大倍数、电流放大倍数、功率放大倍数(p. 72)。
7. 所谓 h 参数是什么(p. 74)?
8. 说明电流反馈稳定偏压的原理(p. 77)。
9. 试述 RC 耦合放大电路的优点(p. 78)。
10. 负反馈电路为什么是必要的(p. 80)?
11. 在 A 类放大电路中负载固定时，如电源电压增大到 3 倍，最大输出电压为多少倍(参见 p. 83，答 9 倍)。
12. 说明 B 类推挽放大器的工作原理(p. 84)。
13. 谐振电路的 Q 值是什么(p. 87)?
14. 说明 FET 放大电路的工作点(p. 88)。

重要词汇

偏置(bias)	推挽放大器(push-pull amplifier)
电压放大(voltage amplification)	场效应晶体管(field effect transistor)
h 参数(h-parameter)	高频放大器(high frequency amplifier)
负反馈电路(negative feedback circuit)	谐振电路(resonance circuit)
A 类放大器(A class amplifier)	Q 值(quality factor)

3 各种电子线路



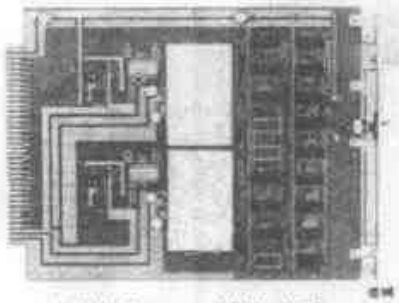


学习指南

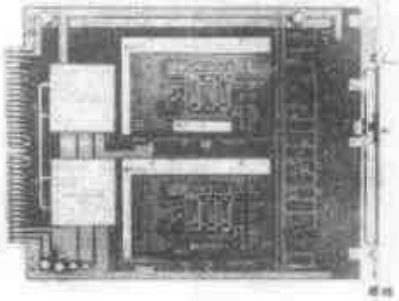
当今，电子技术领域百花齐放，半导体器件是其中的主角尤为活跃。

你是否想过，日常看到的各种家具和装置有多少是由集成电路和各种电子元件构成的吗？调查一下你会感到惊讶："连这东西都是电子产品！"在美国有这样一段广告词："这个产品是由化学、生物学、电子学的成果制造的"。据说这是电子灭蚊器的宣传广告。电子技术起着融合、加强不同领域新技术的黏合剂的作用，并且还具有推动文化进步的特点。

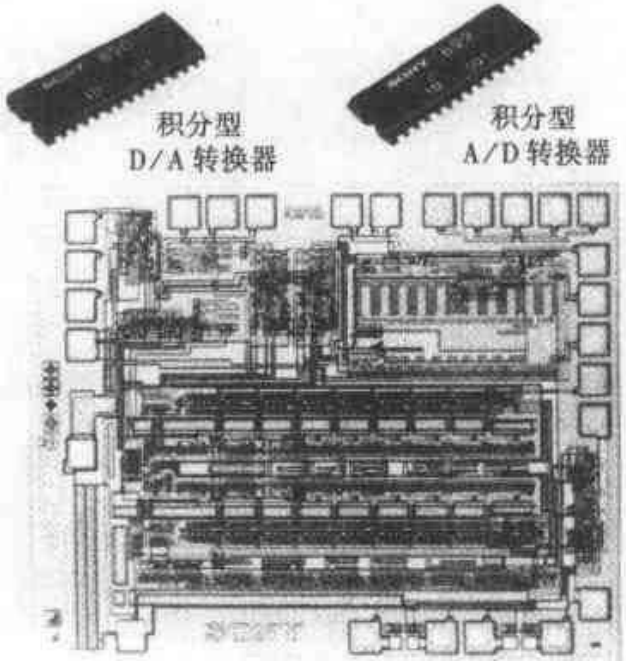
如此发达的电子技术产生出了多少种电子元件？由这些电子元件做成



以前的 D/A 转换电路



以前的 A/D 转换电路

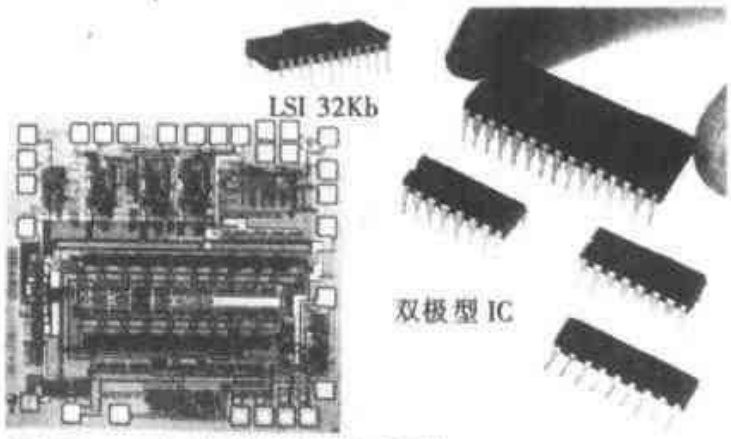


积分型 D/A 转换器的芯片放大照片

了多少种电子线路？要把这些全部讲到是很困难的，只能尽量选出通常认为是基本内容的加以说明。

即使如此，还是难以把应该选取的内容全部包括进去。这里，我们将像电子技术展望那样，尽可能多举例子，而将讲述深度控制在入门的程度。

本章将顺序介绍除放大器之外的电源电路、振荡电路、脉冲电路、数字电路及模拟电路。关于数字电路，本章所介绍的逻辑电路和时序电路的内容只限于计算机章节中所不讲的内容



积分型 A/D 转换器芯片的放大照片

本章要学习的内容

整流电路的作用、滤波电路和稳压电源。

数字量及模拟量的区别，以及数字集成电路的种类和工作原理。



振荡的基本条件及各种振荡电路的原理。

学习作为数字和模拟桥梁的 D/A、A/D 转换器和模拟集成电路、运算放大器等知识。



电子开关的原理、微分电路、积分电路及脉冲发生器的原理。

1 二极管的作用



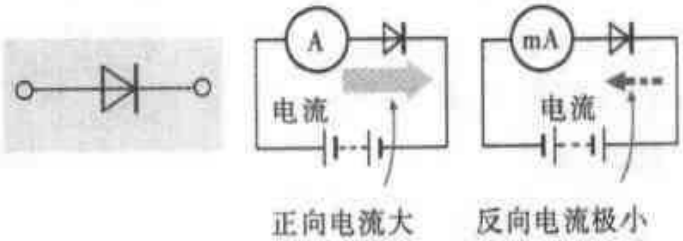
整流电路

只要看一下二极管的符号就可以明白它的性质,这就是电流具有单向导通的性质,如图 1(a) 所示。利用该性质将工频交流电整流,就可以方便地得到直流,在电子仪器的电源中得到广泛应用。(b)、(c)、(d)是其应用实例。

(b)是用一个二极管使电流单向导通,将原来的交流波形变成了缺少半个周期的波形,称之为**半波整流**。

(c)是以变压器的中间抽头为基准做成的电路。在①的情况下 D_1 导通,②的情况下 D_2 导通,使正弦波的半个周期反相,并与另半个周期相叠加的波形,这称为**全波整流**。

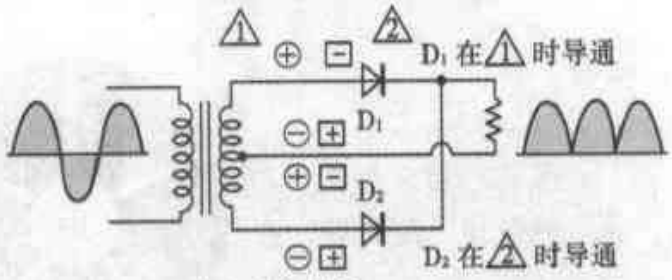
(d)避免了变压器制造中



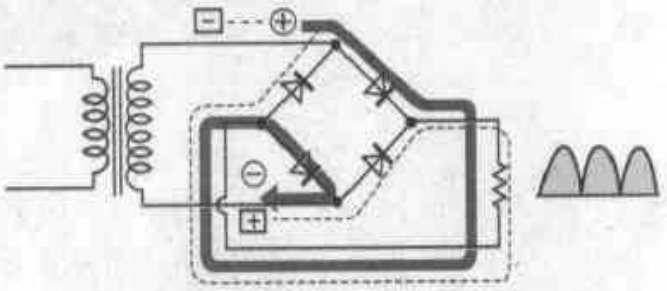
(a) 二极管的符号与性质



(b) 基本整流法(半波整流)



(c) 全波整流



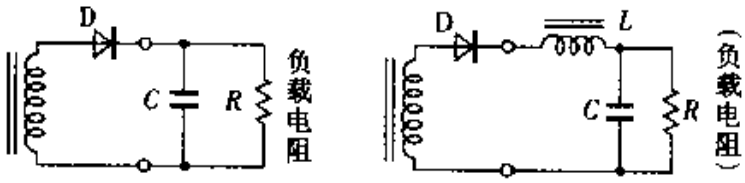
(d) 二极管桥式整流

图 1　二极管整流电路实例

间抽头的麻烦，可以得到与图(c)同样的结果，故经常被采用。

滤波电路

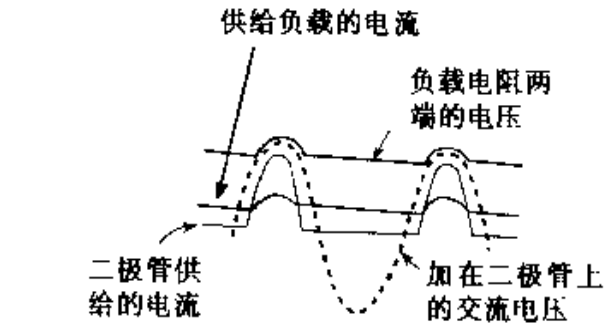
用二极管整流得到的电压还不能说是真正的直流电压，而是脉动电压。还需要将它进一步变成像电池供电那样的稳定直流。完成这一工作的是滤波电路。滤波电路有图 2 所示的电容器滤波和扼流圈滤波两种。



(a) 电容器滤波　　(b) 扼流圈滤波

图 2　滤波电路

图 3 表示图 2(a)所示电路的电压、电流波形，二极管提供的电流给电容器充电，是冲击性电流。由于电容器的缓冲作用，供给负载的电压、电流变成了缓慢变化的波形。



(a) 图 2(a)电路的电压 - 电流波形



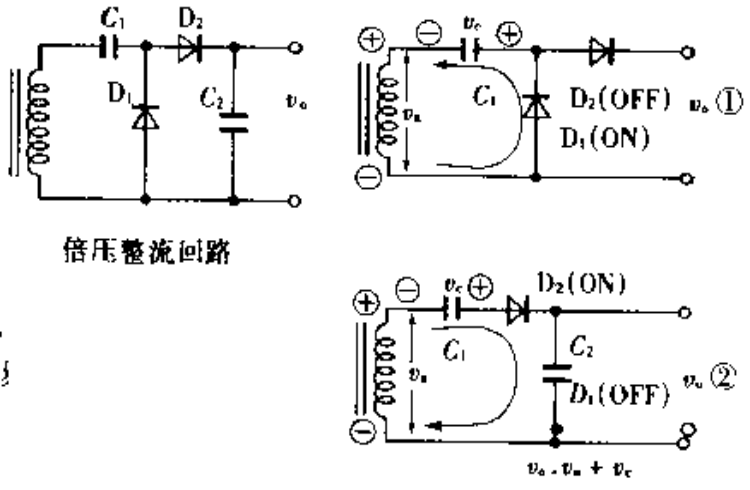
(b) 以水作比喻

图 3　滤波电路的作用

One Point

倍压整流电路

右图中，当①的 v_a 为负半周时，D_1 按图中所示极性对 C_1 充电。当②的 v_a 为正半周时，$v_a + v_c$ 通过 D_2 对 C_2 充电，所以 v_o 几电压。这种电路，由于负载容适用于大容量负载。

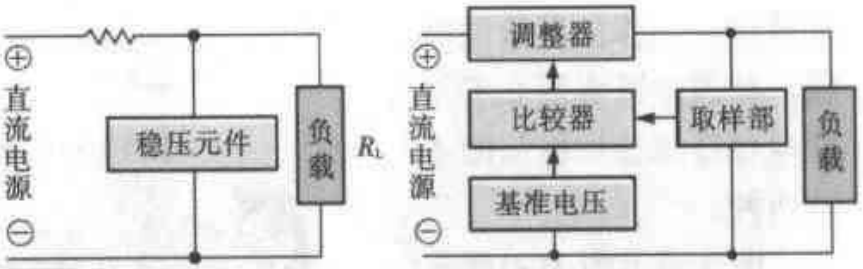


2 稳压电源电路



稳压电路

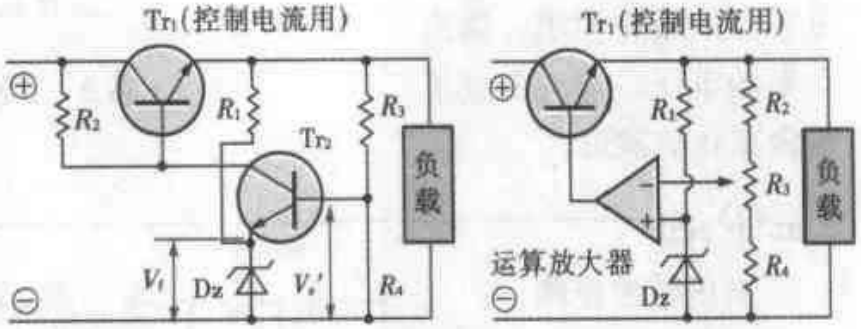
精密振荡电路和数字电路对直流电源要求很高，电源的电压波动必须很小。因此直流电源中应该有稳压电路。



(a) 无反馈稳压电路　　(b) 反馈稳压电路

图 1　稳压电路的原理图

这种电路的原理如图 1 所示。其中图(a)是用齐纳二极管等稳压器件来实现稳压的，它适用于小电流及电压稳定性要求不高的场合。图(b)是由反馈电路自动控制的电路。图 2 是这种电路的一个具体例子。在图 2(a)中，由齐纳二极管设定一个基准电压 v_r，由 R_3、R_4 对输出电压进行分压，Tr_2 将 v_r 和 v_o' 进行比较、检测出偏离基准状态的变化，其变化量改变 Tr_2 的集电极电流。Tr_2 集电极电流控制着 Tr_1，使输出电压保持稳定。图 2(b)中连接成差动放大器的运算放大器起着与 Tr_2 相同的作用。



(a) 图 1(b)的具体例子(晶体管串联型)　　(b) 用运算放大器进行检测的实例

图 2　稳压电路实例

开关型稳压电路

还有一类稳定电压的方法，叫做开关型。它又可分为脉宽调制型、频率调制型、自激型等，图 3 是脉宽调制型的原理图。

在这个电路中，L 和 C 的作用很重要。C 两端所加的电压是外部直流电源经过开关 S 和 L 充电的电压，其充电速度决定于 L、C 的组合。

设 L、C 的值为某固定值，若改变开关的通断时间，C 上蓄积的电压就会变化。

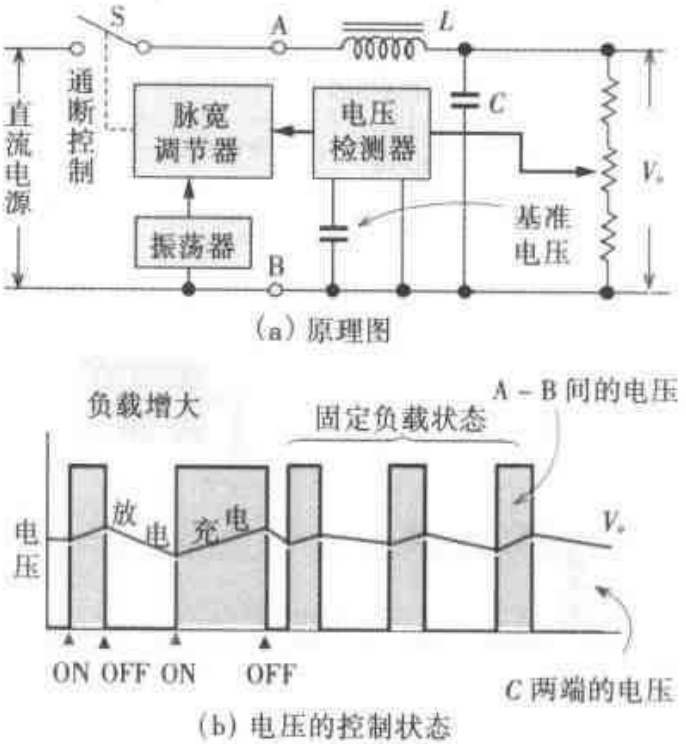


图 3　开关型稳压电路

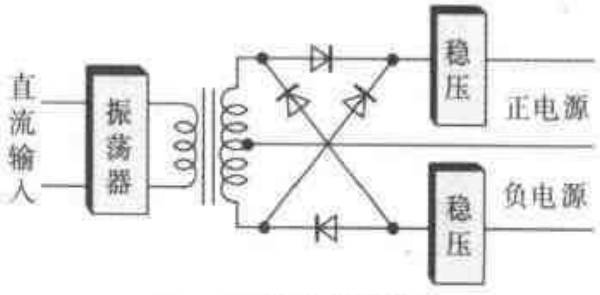
闭合的时间越长，C 两端的电压就会越高（不会高出直流电源的电压）。适当调节开关的闭合时间，C 两端的电压就能几乎保持恒定。图 3 所示电路的工作过程是：电压检测器检出 C 两端电压的变化，检测器的输出控制脉宽调制器。脉宽调制器输出的脉冲宽度就会随 C 上电压的大小而变化，这个宽度变化的脉冲即为开关的通断时间。实际电路中，开关 S 是由开关晶体管来担当的。这种稳压电路的特点是体积小、效率高。

One Point

DC-DC 变换器

最近作为商品出售的电源中有一种输入 5V 直流电压，而能输出 ±15V 直流电压的电源，称之为 DC-DC 变换器。

如右图所示，振荡器将直流电压变为交流电压，变压器将这一交流变为所需电压值，然后进行整流。这种电源常用于由电池组来得到高电压的场合。



DC－DC 转换器的构造

3 振荡电路(1)



振荡电路的原理

振荡器是一种持续输出交流电压的装置，有正反馈型和负阻抗型，正反馈型应用较多。图 1 为其最基本的原理图。

图 1 中当放大器的输出反馈到输入端时，若其变化与输入端的变化同相，则这种反馈称为正反馈。这时虽然放大器输入端并没有外加信号，但输出端信号却可能是持续不断的。当满足一定条件时，输出信号的大小将稳定在一个固定值上，称为振荡。例如，若反馈量大小是输出电压的 1/10(暂时假定反馈电压大小为 0.1V)，设放大器的放大倍数为 10，则放大器的输出为 1V，反馈电压正好是 0.1V。这样放大器就有持续固定的输入，而输出也固定在 1V。也就是说，当整个反馈环路的总增益为 1 时，振荡将稳定地持续下去，“环路增益必须等于 1”这一约束称为振荡器的“幅度条件”。

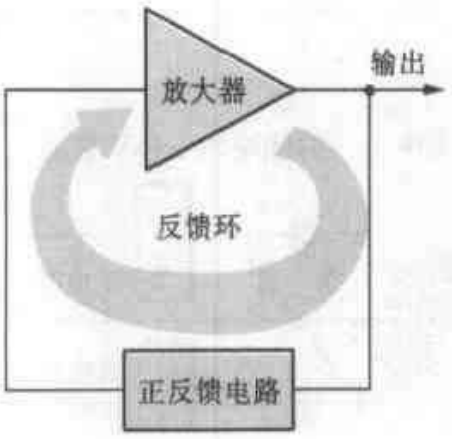


图 1　振荡电路的原理图

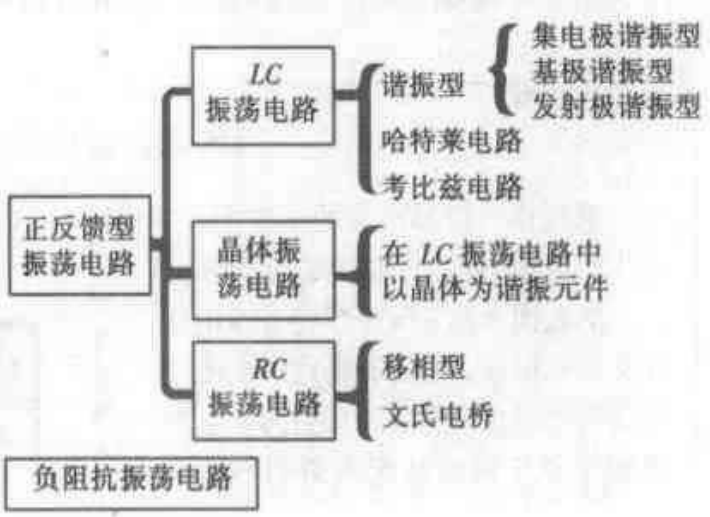


图 2　正弦波振荡电路的分类

根据用途不同，振荡器有多种类型。例如产生正弦波的振荡器就有图2所示的类型，其中 *LC* 振荡电路和晶体振荡电路常用于射频频段，而 *RC* 振荡电路常用于音频频段。

LC 振荡电路

图3(a)～(c)是利用线圈耦合产生正反馈的振荡电路，其振荡频率如下式所示

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}}$$

这种电路的特点是反馈量容易调整，故易产生振荡。

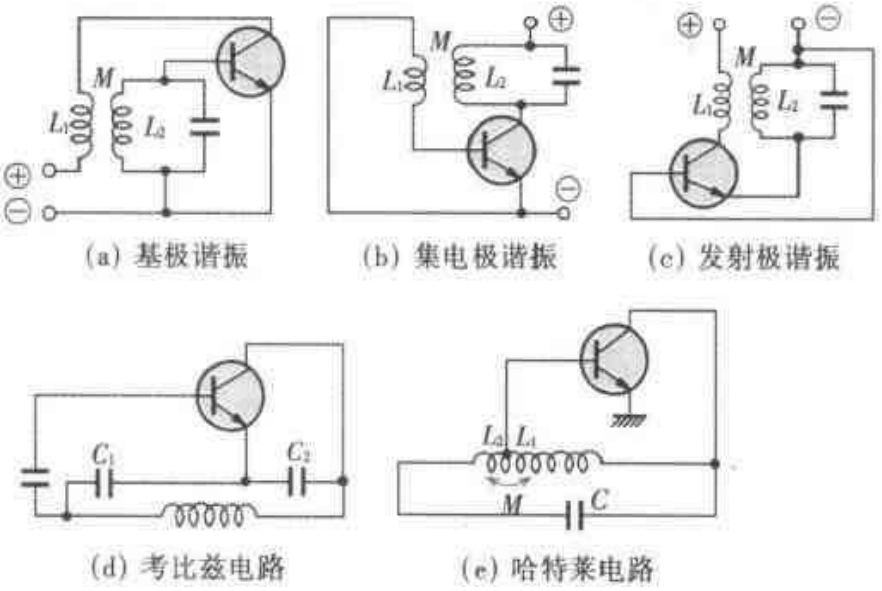


图3　各种 *LC* 振荡电路

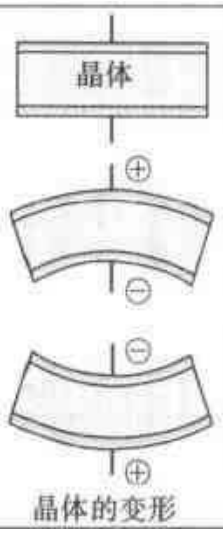
图3(d)、(e)是用 *C* 或 *L* 对谐振电路电压进行分压来实现反馈的方法。在这两个电路中，当(d)的谐振电路阻抗呈电感性，而(e)的谐振电路阻抗呈电容性时，振荡条件满足，其振荡频率分别为

图3(d)：$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_P}}$　式中　$C_P = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2}$

图3(e)：$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_PC}}$　式中　$L_P = (L_1 + L_2 + 2M)$

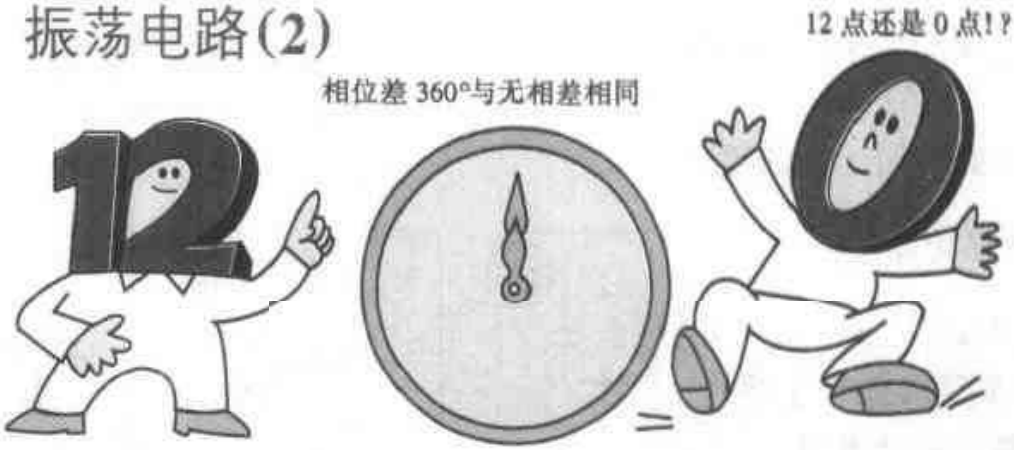
One Point

关于晶体振荡电路



它是利用晶体的压电效应来实现振荡的。当晶体上加有电压时，晶体发生变形，这一变形使晶体的内部压力产生变化，压力变化又使晶体产生感应电荷。晶体对于从加电压到产生电荷的响应有一个固有频率，当施加的电压与该频率同频时，晶体变形最大，产生的电荷也就更多。这种情形与 *LC* 振荡电路具有同样的效果。由于晶体的 *Q* 值高，频率选择性好，所以振荡频率稳定性好。晶体振荡电路在无线电通信等设备中得到了广泛应用。

4 振荡电路(2)



RC 振荡电路

这是用阻容回路产生正反馈来实现振荡的音频振荡电路。

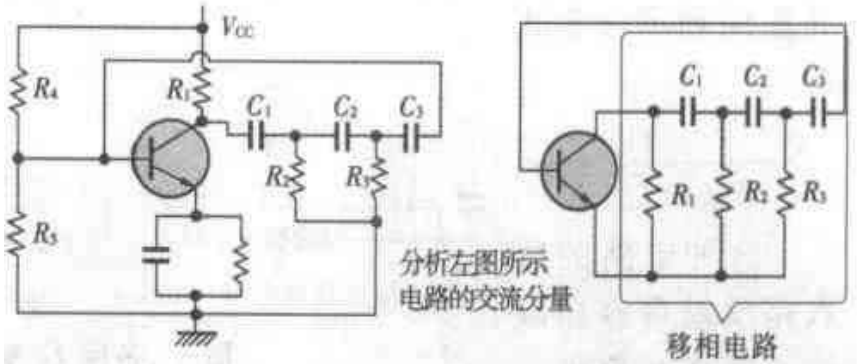


图 1 移相式 *RC* 振荡电路

图 1 示出移相式振荡电路，当 $C_1 = C_2 = C_3$、$R_1 = R_2 = R_3$，$f \approx 1/(\sqrt{6} \cdot 2\pi CR)$[Hz]时，移相电路的相位差为 180°。晶体管输入输出端的相位差总是 180°，二者相加共 360°，即加在基极上的是正反馈电压。这样，当由晶体管放大部分和反馈环共同组成的电路满足“增益等于 1”的幅度条件时，就能形成振荡。这种振荡器适用于使用中不需改变频率的场合。

图 2 所示是用文氏电桥电路产生正反馈的振荡器，其振荡频率为 f 为 $f \approx 1/2\pi RC$。

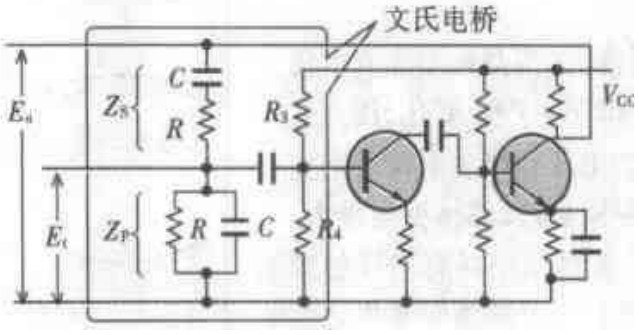


图 2 文氏电桥 *RC* 振荡电路

$Z_S = R - j\frac{1}{\omega C}$　$Z_F = \frac{R}{1 + j\omega CR}$

RC 反馈电路的反馈量 F 为

$$F = \frac{E_i}{E_o} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{1}{R\omega C} - \omega CR\right)}$$

该项等于 0 时，即为正反馈

正反馈时的 F 为　$F = \frac{E_i}{E_o} = \frac{1}{3}$

这时的 ω 为　$\omega = \frac{1}{CR}$

间歇振荡电路

这种电路的振荡是间歇性的，故而得名。

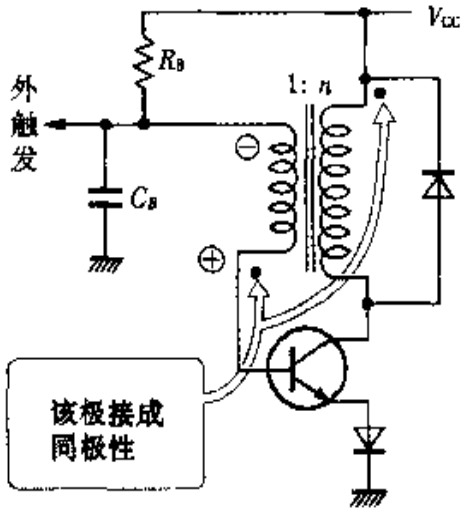
图 3 所示电路中集电极电流变化通过变压器以正反馈方式连接到晶体管基极，下面按顺序说明其工作原理。

(1) 振荡处于停止状态，v_B 因 C_B 上所储存的负电荷而保持负电位，但由于 V_{CC} 通过 R_B 向 C_B 充电，C_B 的电荷将逐渐减少，v_B 的电位就逐渐接近于 0。

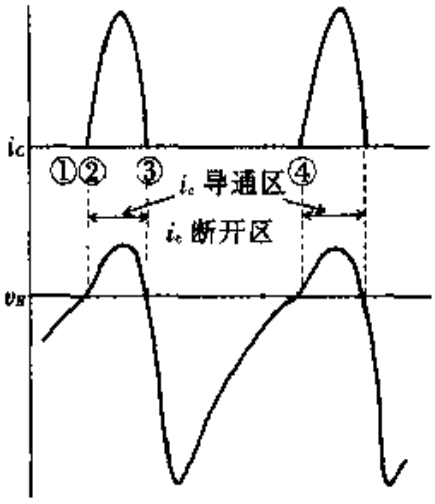
(2) v_B 一旦超过 0，集电极就开始导通，i_C 流过变压器的次级，初级中便有感应电压产生。随之，正反馈作用实际形成，i_C 迅速增大。此时变压器接 C_B 的一端上得到负电位。当这个电位比通过 R_B 所加的正电压更高时，基极电位又变为负而进入截止区，振荡即停止。

(3) C_B 的负电位使晶体管进入截止状态，振荡停止。

(4) R_B 供给的正电荷使 C_B 的负电荷被中和，电位再次向 0 变化。于是，电路就不断地重复这种振荡、停止的状态。



(a) 间歇振荡电路



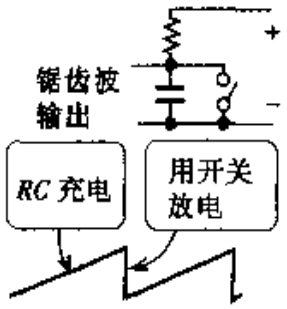
(b) 间歇振荡波形

图 3　间歇振荡电路原理图

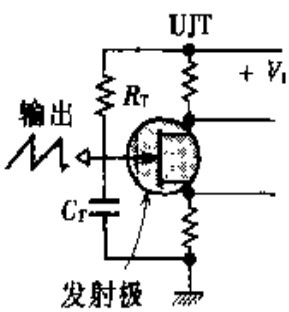
One Point

锯齿波是如何产生的?

如图所示，用一个短路开关使 RC 充电电路的 C 上的电荷放电，即可产生锯齿波。图示的电路中，代替开关的是 UJT 的发射极特性。

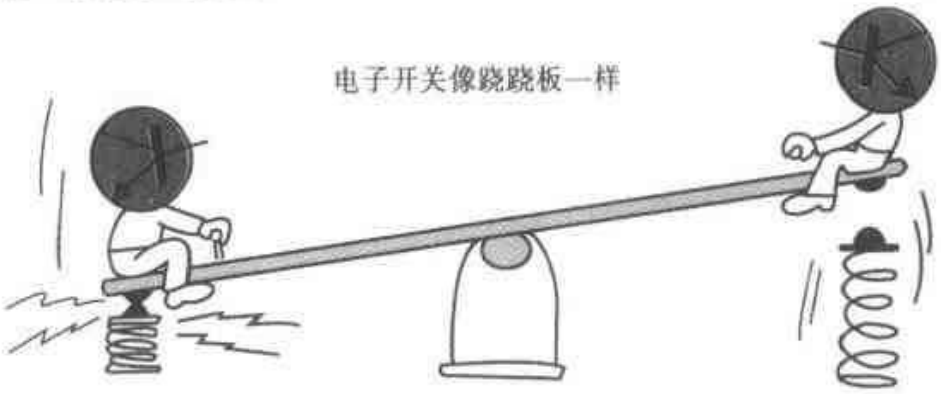


锯齿波产生原理



UJT 弛张电路

5 多谐振荡器



非稳态多谐振荡器

多谐振荡器的含义是它能“输出包含多种高次谐波的信号”，是一种用途很广的振荡器。

多谐振荡器有**非稳态**、**单稳态**、**双稳态**三类，这里就非稳态多谐振荡器加以说明。

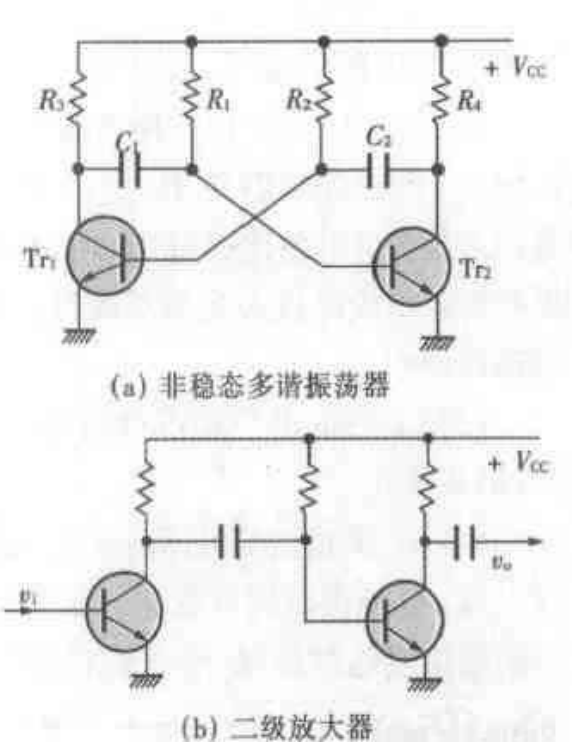


图 1　非稳态多谐振荡器原理

从图 1 可知，图 1(a) 是以图 1(b) 所示的二级放大器为基础构成的。为理解其工作原理，我们按时间顺序来看图 2 所示波形。

①是 Tr_1 导通、Tr_2 截止的瞬间。Tr_1 的集电极电位急剧降低，使 Tr_2 的基极电位迅速变为负电位。Tr_1 的基极电压变为饱和状态。

①→②期间，C_1 上储存的负电荷通过 R_1 放电，使 Tr_2 的基极电压以 $\tau_2 = C_1 R_1$ 的速度向 0 方向上升。

在②点，Tr_2 的基极电位刚一超过 0，Tr_2 就导通，其集电极电流在 R_4 上的电压降使 Tr_2 的集电极电压降低。这个变化又通过 C_2 影响到 Tr_1 的基极，使 Tr_1 的基极电压下降。于是 Tr_1 的集电极电流减小，R_3 的压降减小，

Tr_1 的集电压上升。这个变化再通过 C_1 传给 Tr_2，使 Tr_2 的集电极电压进一步下降。如此反复，直到 Tr_2 完全导通，Tr_1 完全截止。

可见多谐振荡器的二级放大器就像玩跷跷板一样相互影响，从而形成时而 Tr_1 导通、Tr_2 截止；时而使 Tr_2 导通、Tr_1 截止这种开关状态。

该电路的周期为：

$$T = 0.69(R_1 C_1 + R_2 C_2)$$

如果设 $R_1 = R_2$，$C_1 = C_2$，则

$$T = 1.38RC \text{ [s]}$$

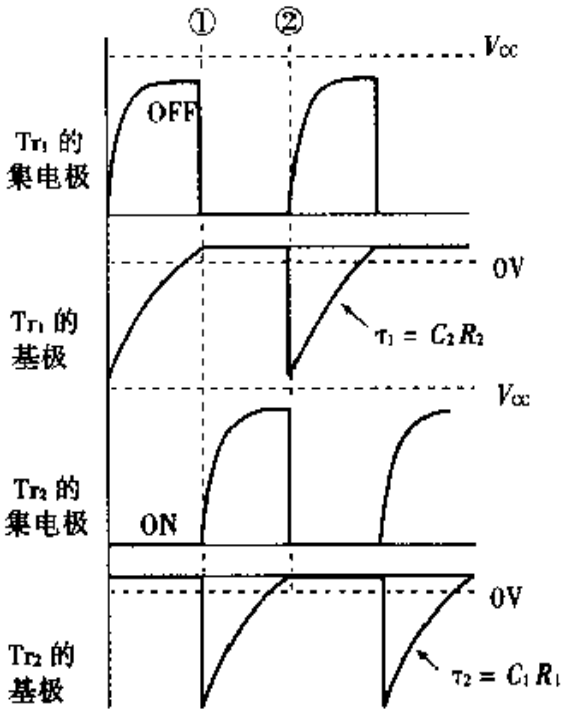
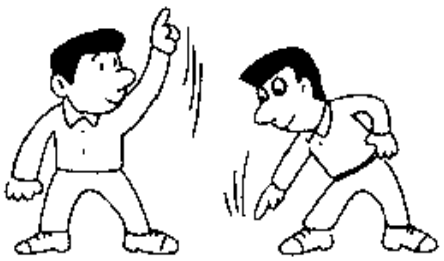


图 2 非稳态多谐振荡器各部分的波形



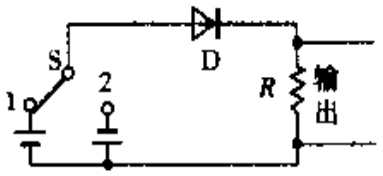
OnePoint

开关电路

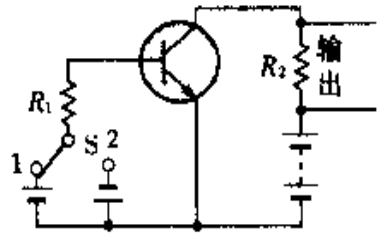
右图（a）是将二极管作为开关来使用的电路。当 S 扳向 1 时 D 的正向电流导通，输出端有输出电压；当 S 扳向 2 时，因 D 处于反向，电流截止，没有输出。

图（b）中如 S 扳向 1，基极有电流流过，集电极导通，R_2 上有输出。如 S 扳到 2，基极无电流，集电极电流几乎为 0，则 R_2 上无输出。

脉冲电路和数字电路就是巧妙地利用了半导体器件的这种开关作用。



(a) 二极管开关



(b) 晶体管开关电路例

6 积分电路和微分电路



积分电路

输出电压由输入电压产生的电流的积分值所决定的电路称为积分电路，常用于脉冲电路。其简单电路如图 1(a)、(b)所示。由于电阻比电感更方便，所以图(a)的电路应用较多。

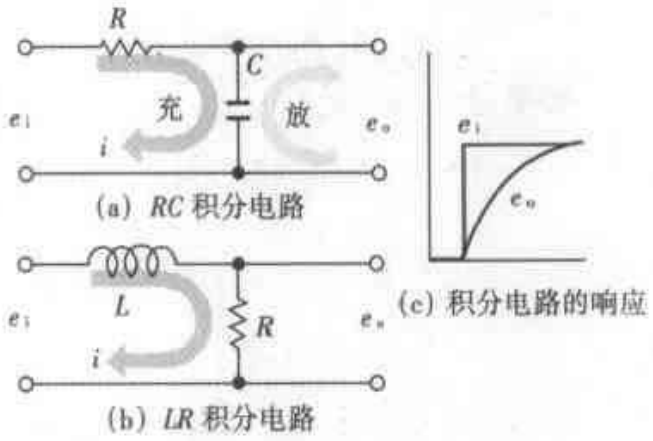


图 1　积分电路的原理

如对积分电路施加图(c)所示的电压 e_i，则输出电压的变化为 e_o

$$e_0 = e_c \approx \frac{1}{C}\int i\mathrm{d}t = \frac{1}{CR}\int e_i dt$$

这里 $\tau = CR$ [s]是 e_o 变化的时间常数。

如对积分电路施加图 2 所示的方波，则输出为锯齿波。若 τ 比方波周期大得多，则可得到三角波。

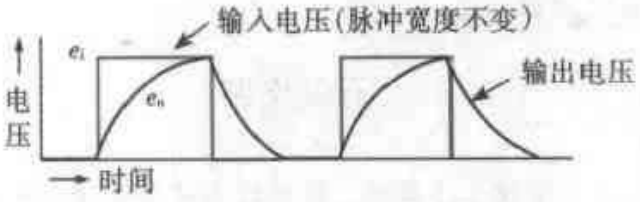


图 2　积分电路对方波电压的响应

如图 3 所示，如脉冲波持续时间(脉冲宽度)不同，输出

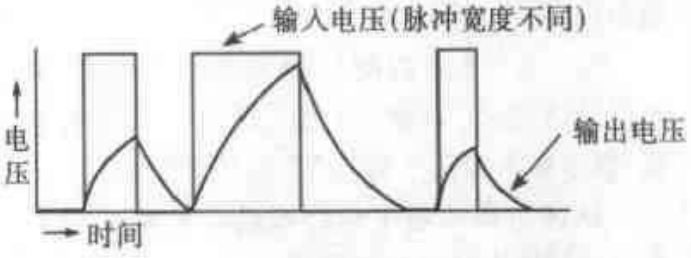


图 3　脉冲波宽度与响应的关系

电压的高度也不同。电视机中就是针对垂直同步信号脉宽大、而水平同步信号脉宽小的特点，利用积分电路的这一特性来选出垂直同步信号的。

微分电路

输出电压由输入电压的微分值所决定的电路称为微分电路。

由图 4(b)可知，微分电路的特点是“只对输入的变化部分有响应”。在 $R \gg 1/\omega C$ 的情况下，这种倾向就更明显。

如图 5 所示，当 v_i 突然上升时，流过 C 的电流方向和 C 上的电位高低如图(a)所示。当 v_i 突然下降时，由于 C 上已有被充电所留下的 v_i 最大电压 V_i，所以其电流、电压方向如图(b)所示。由于 v_o 是 R 上的压降，故其波形与电流成正比。

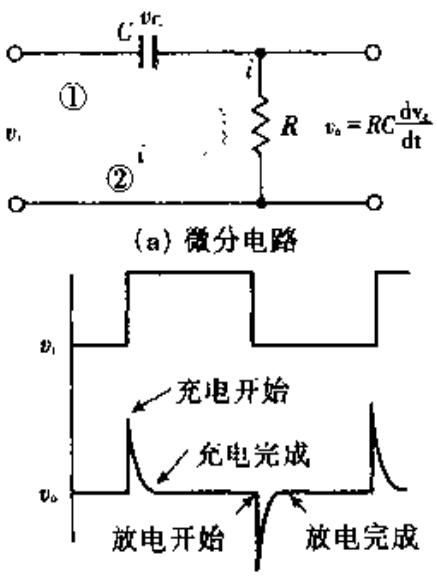


图 4　微分电路及其响应

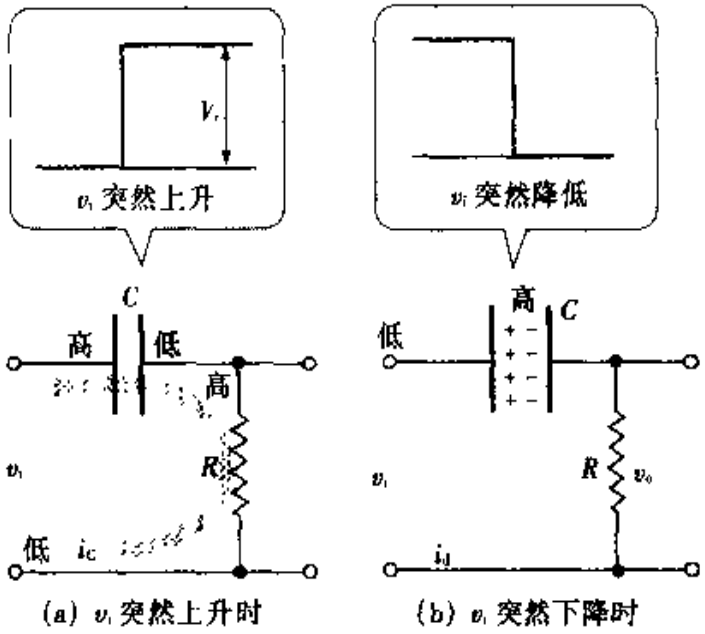


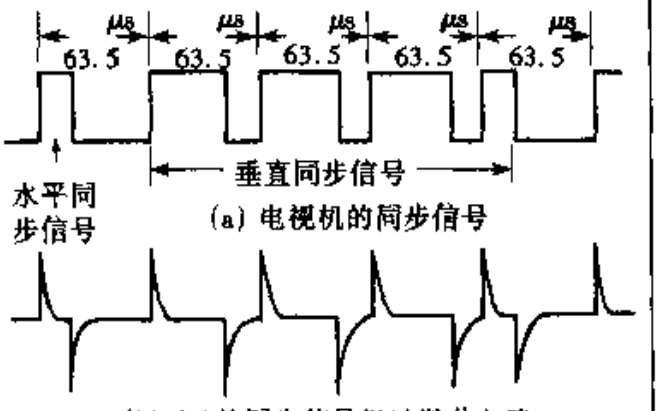
图 5　微分电路中的电流

One Point

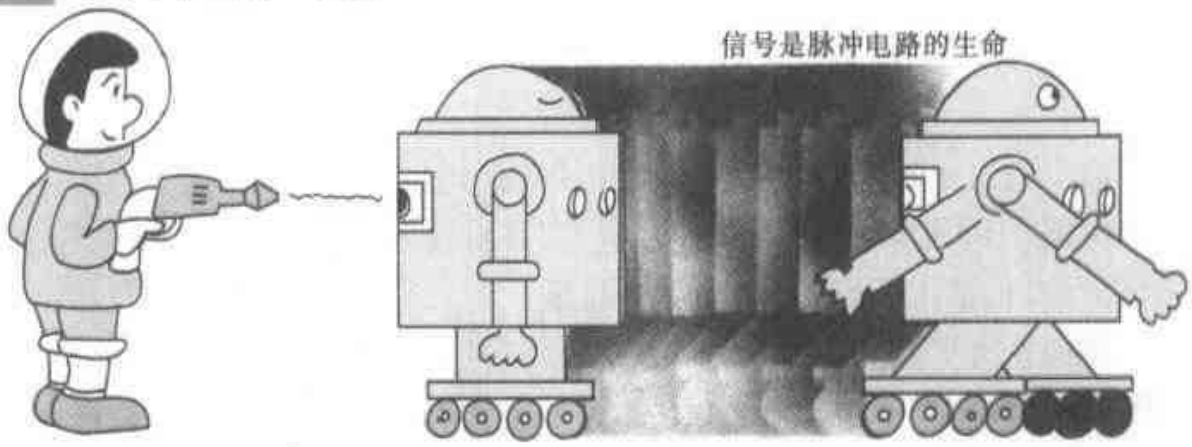
微分电路的应用

微分电路和积分电路因其在电视接收机中的应用而颇受注目。

电视信号是由几个不同部分组成的，电视机内部电路需要将它们分离出来，图中的例子就是用微分电路分离出水平同步信号的示例。



7 脉冲的产生



脉　冲

“脉冲”一词来源自于“脉搏和跳动”。在电路中是指间断性的电流或电压。图 1 示出了各种脉冲信号。图(a)～(e)符合间断性，是当然的脉冲信号。而图(f)和(g)通常也都作为脉冲波来对待。因此，**脉冲电路**可以广义地解释为“处理非单一正弦波波形的电路”。

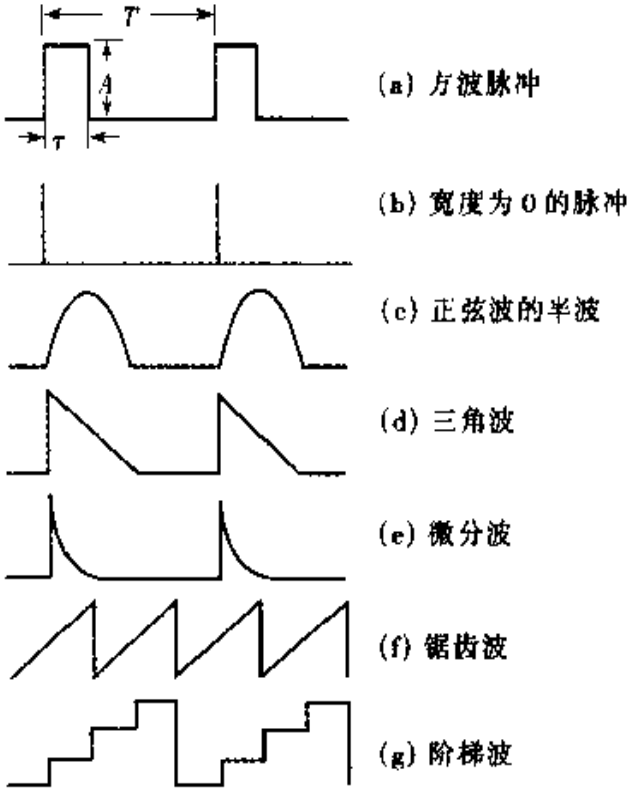


图 1　脉冲波举例

图 2 是常用来产生脉冲波的简单方法。先将正弦波充分放大，再用限幅电路进行削波，就得到了方波。将方波微分，然后利用二极管的单向性分离出所需极性的脉冲，再经放大即可使用。脉冲波可用以下的参数来定量描述：重复周期 T、脉冲宽度 τ、振幅的大小 A。

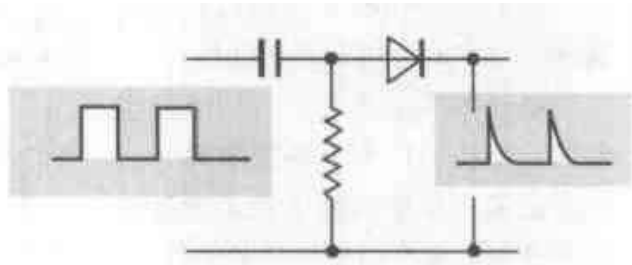
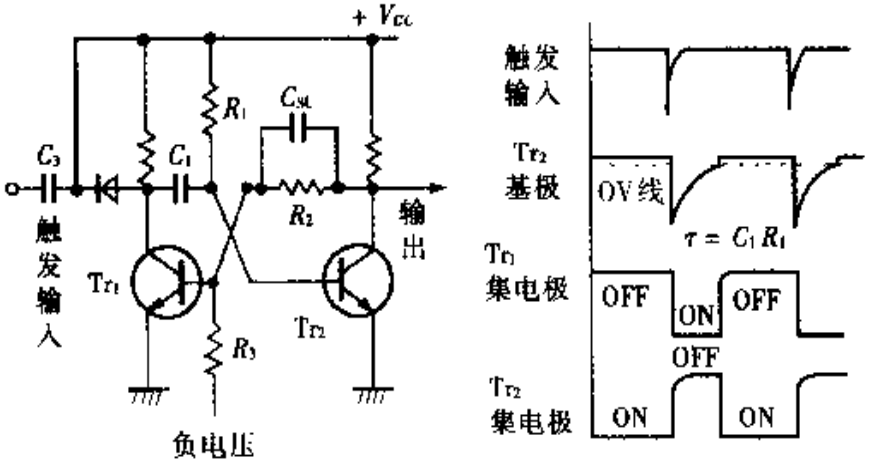


图 2　产生脉冲波的简单电路

用多谐振荡器产生脉冲波

产生脉冲的方法有多种。图 3 是将第 5 节的图 1(a)所示非稳态多谐振荡器的 C_2 换成 R_2，并用 R_3 将 Tr_1 的基极接到负电源上而构成的脉冲发生电路。



(a) 单稳态多谐振荡器电路　　(b) 工作波形

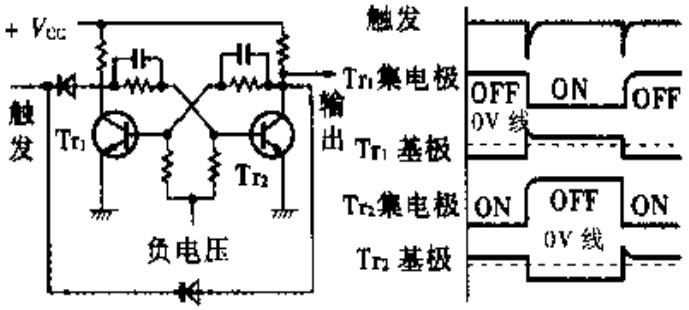
图 3　单稳态多谐振荡器

当电路输入端没有触发信号时(触发信号就像是扣动枪的扳机时的动作)，Tr_1 在负电源电压作用下呈现截止状态，而 Tr_2 维持导通状态。这种状态不会自己改变，故称为稳态。如果给输入端加一个触发信号(图 3 电路应加负脉冲)，受其影响 Tr_2 的基极电压变为负，于是 Tr_2 就截止，其集电极电压上升。这一上升促使 Tr_1 的基极电位变为正电位，Tr_1 就导通。这时，C_1 上储存的电荷开始放电，Tr_2 的基极电位向正电压趋近，直到正，Tr_2 重新导通。它的集电极电压下降，使 Tr_1 又截止，电路又回到稳定状态。这种多谐振荡器仅在有触发输入时变成非稳态，经过 τ 秒后就又返回稳态。因而称为单稳态多谐振荡器。该电路能产生周期性矩形脉冲，其周期决定于触发脉冲的周期，其脉冲宽度决定于 $R_1 \times C_1$ 的大小。

One Point

双稳态多谐振荡器

右图所示是双稳态多谐振荡器，是脉冲电路中不可缺少的电路。双稳态是指它具有 Tr_1 导通、Tr_2 截止和 Tr_1 截止、Tr_2 导通两个稳定状态。状态的转换由触发脉冲来完成，因而也称为触发转换电路。



双稳多谐振荡器的原理和工作波形

8 整形电路



波形整形电路

脉冲信号通过各种电路后波形会变坏，往往成为电路误动作的原因，于是就需要有**整形电路**。

整形电路多采用单稳态和双稳态多谐振荡器，也有用图 1 所示的二极管整形电路的。

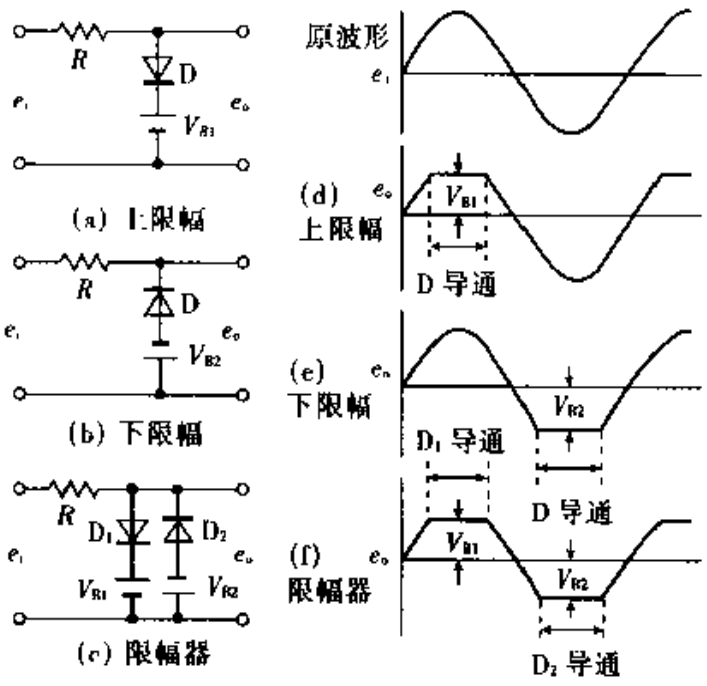


图 1　限幅器及限幅原理

在图 1(a) 中，如果输入电压比 V_{B1} 高，D 两端的电位差为正向，D 则导通，e_o 被限定为 V_{B1}，二极管起着图 2 所示的开关作用。图 1(a)的电路中，波形的顶被削除，称为**上限幅电路**。

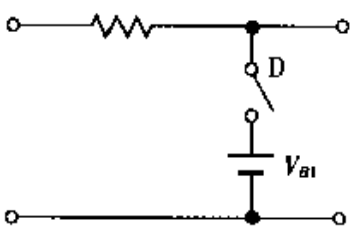


图 2　二极管的作用

图(b)与(a)相反，波的低谷被切除，故称为**下限幅电路**。

图(c)中波峰和波谷均被切除，称为**双向限幅电路**，或简称限幅电路。

脉冲整形电路

图 3 是把输入波形固定于某一定值的电路，在图 3 (a) 所示电路中，当②端为正、①端为负时，二极管导通，电容器按图示极性充电。这种情况下如 R 取值很大，在下一个负值来到之前，v_c 不会变化。所以当 v_i 为正时，D 截止。此时③④端的波形 v_o 如图所示，是 v_i 为正时的电位（$=v_p$）和电容器在 v_i 为负时所充的电压 v_c（$\approx v_p$）之和，负峰值被箝位在 0V。

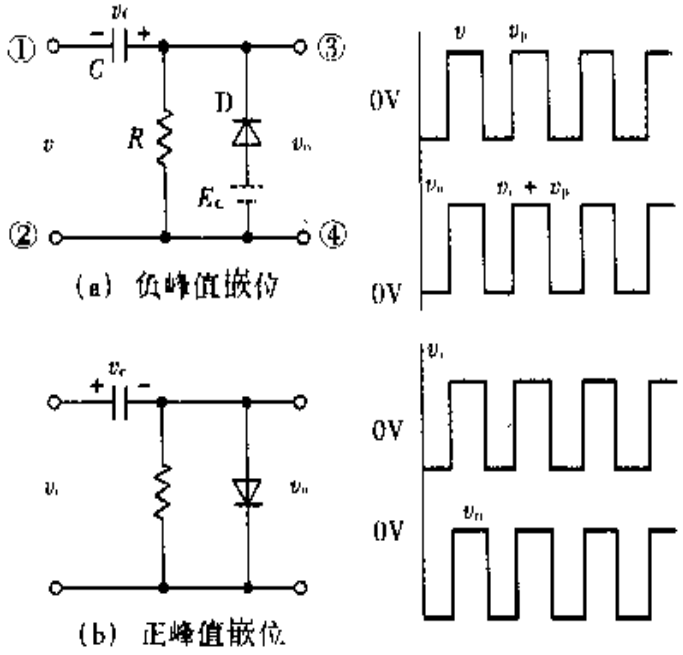


图 3　箝位电路

图(b)与之相反，正峰值被箝位在 0V。

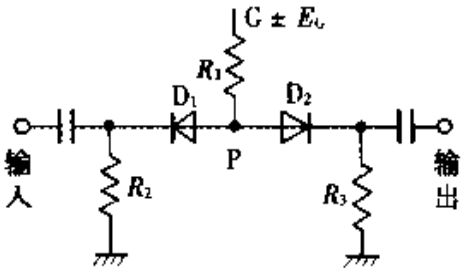
另外，如果在图 (a) 的二极管上串联一个虚线所示的电压 E_c，则箝位电压将从 0V 上升到 $+E_c$ [V]。这种电路常用于防止 RC 耦合电路中脉冲幅值偏离基准电平。

One Point

电　子　开　关

用脉冲电路控制二极管及三极管的导通与截止是很容易的，故经常使用。下面的模拟开关就是其中一种。

图中，当 G 端加负电压时，D_1、D_2 均处于截止状态，输入端即使输入模拟电压也无输出。如果 G 为正，D_1、D_2 就都为导通状态。这时流过 R_1—D_1—R_2 的电流随输入电压而变化，P 点的电位变化与输入电压成正比，这一变化通过 D_2 后输出。也就是说，该电路是用 G 点电压的极性来实现开关作用的电路。



模拟开关

9 模拟与数字



模拟量与数字量

所谓模拟量就是用类似描述长度、角度等物理量的形式所表述的量值（或者数据，广而言之也包括信息等）。所谓数字量，就像用手指数数一样，先确定一个最小单位，用这个单位的整数倍的形式来表达的量值。更简单地说，读取刻度那样的量是模拟量，用数值表现的量是数字量。就计算的工具而言，像计算尺那样用刻度读取结果的是模拟型，像台式计算机、算盘那样以数值来表现结果的是数字型。

随脉冲电路的发展，数字量处理的精度越来越高。以脉冲作为计数工具，加上使用电子开关等电路，处理高精度数值的速度也越来越高。

图 1 所示的 PCM 是数字处理的应用实例。在信号处理中，为保持高可靠性和高精度，如果没有计算机的数字计算功能帮助计算，那将是十分困难的。

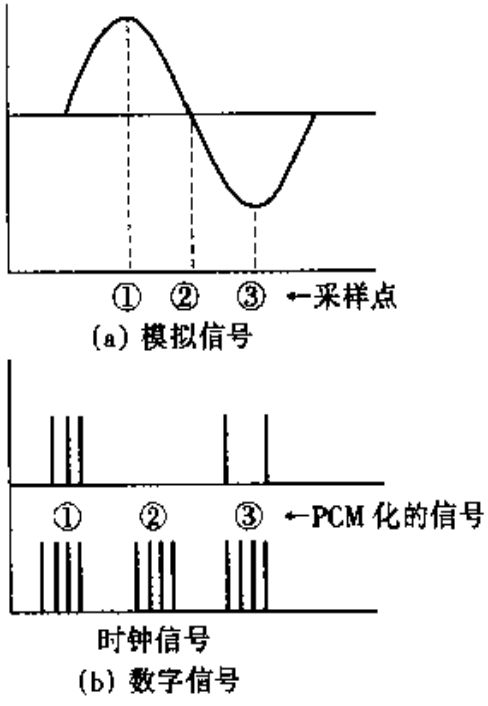


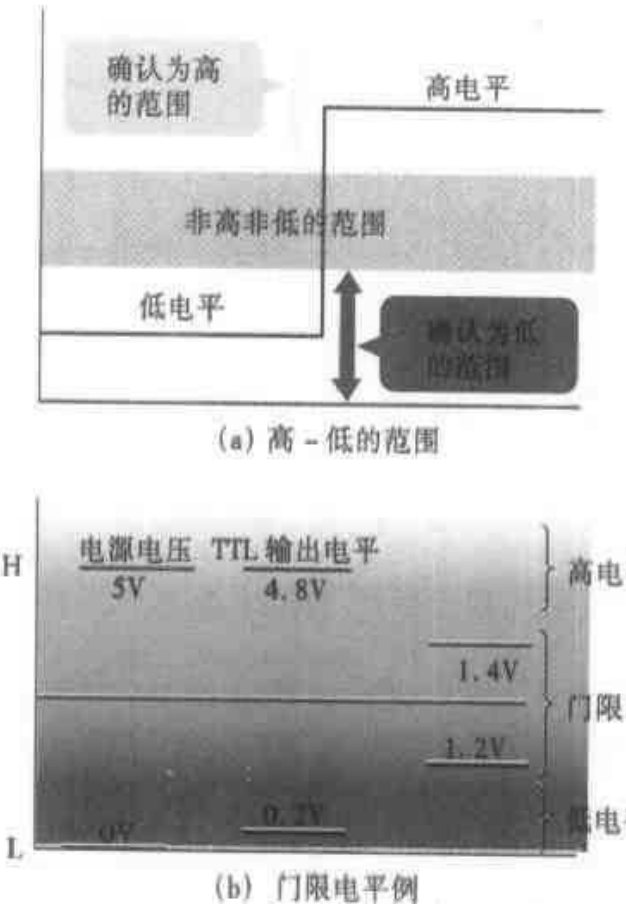
图 1　模拟信号与数字信号的关系

数字电路的基本术语

1. 逻辑电路　数学中对某些问题的求解可以依据“二值逻辑”，采用“是”，“不是”，或“有”，“没有”二者择其一的方

式来回答。这是“逻辑数学”中已证明了的。与之对应，电子电路中的逻辑电路有“高电平”和“低电平”两个状态，它分别相当于“是”和“不是”两个逻辑值。

2. 门限 当前的逻辑电路元器件，高电平电源用5V，低电平电源用0V的较多。考虑到元件质量不可能完全相同，元件间相互连接时，高、低电压的标准范围必须有一定的裕度，这个标准范围就称之为门限（或阈值）。如图2(b)的例子所示，所谓门限也就是区分高、低电平的界限。这个界限是由逻辑电路器件重建脉冲信号的能力决定的。元器件不同，门限值也就不同，实际使用当中，要通过查阅特性资料手册加以确认。



(a) 高－低的范围

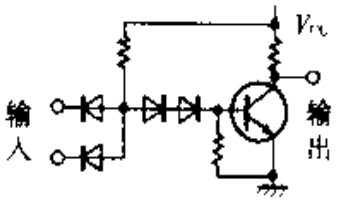
(b) 门限电平例

图2 门限电平

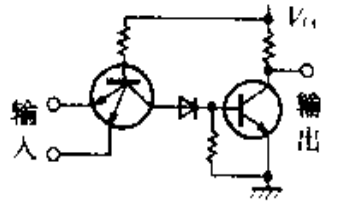
One Point

关于DTL和TTL

数字电路元件大都采用集成电路(IC)。根据其内部结构，这种IC又有DTL器件和TTL器件之分。右图(a)所示由二极管和三极管电路组合制成的器件是DTL(Diode Transistor Logic)，而TTL是以多发射极晶体管代替二极管而制成的器件，有时也写成T^2L(Transistor Transistor Logic)。由于TTL器件制造简单且工作速度高，所以市面上这种产品较多。

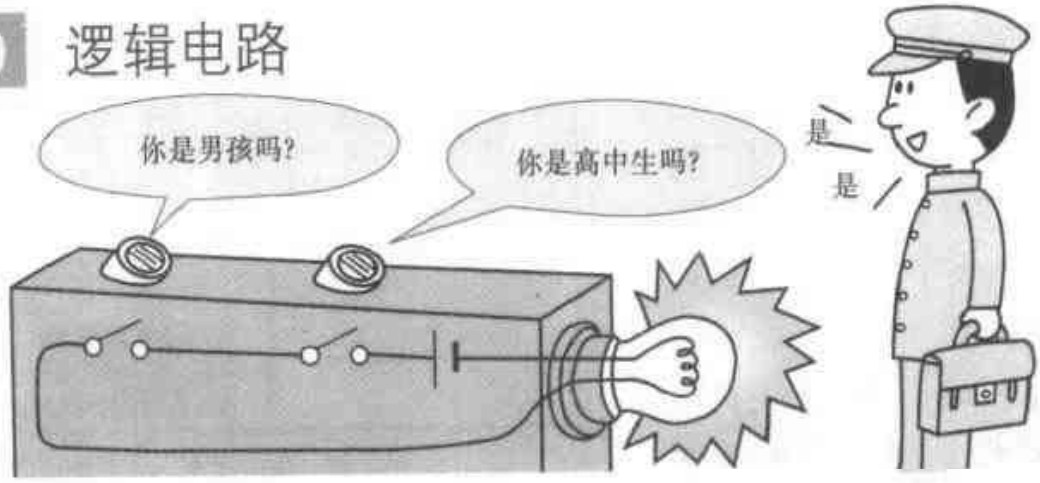


(a) DTL例



(b) TTL例

10 逻辑电路



逻辑电路的基本电路（NOT 电路）

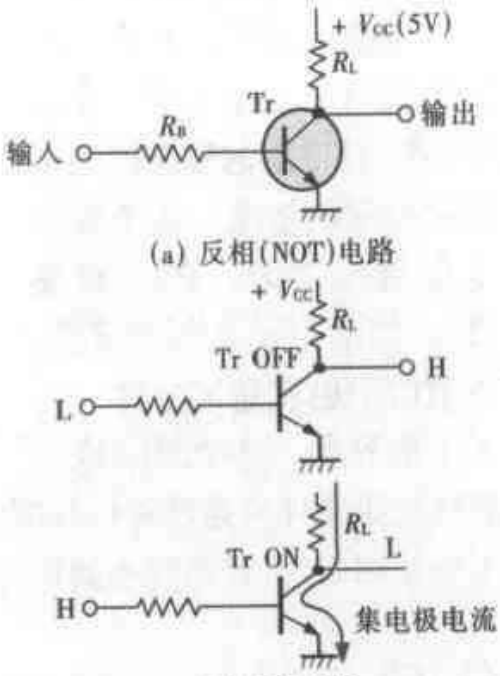
任何复杂的逻辑电路都可以由非(NOT)、与(AND)、或(OR)三种电路组合而成，它们是逻辑电路的基本电路。

图 1 给出“非”电路的实例，这种电路也称为反相器。

图 1(b)说明其工作原理。当输入为低电平(L)时，Tr 的基极电位也为 0，集电极没有电流，Tr 处于截止(OFF)状态，R_L 上当然也没有压降，所以输出端电压与电源电压相同，是高(H)电平。

当输入为 H 时，基极为正电位，有电流流过，故集电极导通，Tr 成为导通(ON)状态。因而输出端电位接近于 0，是低(L)电平。

“非”电路的逻辑状态如图 1(c)所示。“非”电路的作用是将输入倒相，在二进制逻辑上，这就是**逻辑非**（或简称为非），故名“非”电路。



输入	输出
0V(L)	5V(H)
5V(H)	0V(L)

(c) 反相器的电平表

图 1　反相器工作原理

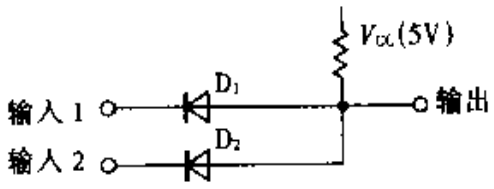


图 2　AND 电路

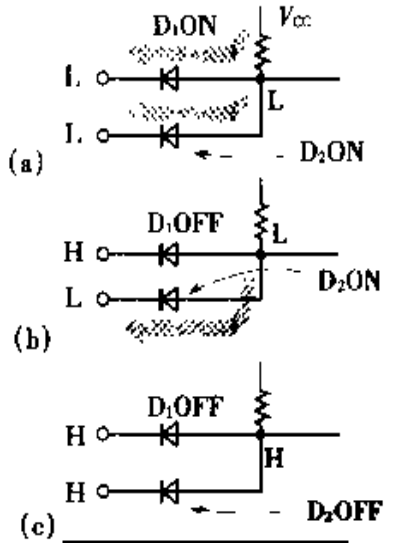
逻辑电路的基本电路
(AND 电路与 OR 电路)

图 2 是“与”电路的一例，图 3 说明该电路的工作原理。

当二个输入端均为 L 时(图 2(a))，D_1、D_2 均为导通状态，有电流流过，输出端为 L。当输入端为 H 和 L 时(图 2(b))，D_1 截止，D_2 导通，有电流从 V_{cc} 流过电阻，故输出仍为 L。

当二个输入端均为 H 时 (图 2(c))，因 D_1、D_2 均处于截止状态，输出端为 H。

从工作原理说明可知，该电路只有当输入 1 和输入 2 均为 H 时输出端才为 H。也就是说只有当两个输入端同时为 H 时，输出才为 H，所以被称为“与”电路，即**逻辑乘**电路。



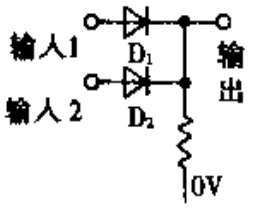
输入		二极管		输出
1	2	D_1	D_2	
L	L	ON	ON	L
H	L	OFF	ON	L
L	H	ON	OFF	L
H	H	OFF	OFF	H

(d) AND 电路的电平表

图 3 “与”(AND)电路的工作原理

图 4 是“或”电路的例子。任何一个输入端为 H 都能使电路输出为 H。这种电路称为“或”电路或者称为**逻辑加**电路。

近来一个芯片上制作了多个“或”电路的 IC 已获得普遍应用。



(a) OR 电路

输入		二极管		输出
1	2	D_1	D_2	
L	L	OFF	OFF	L
H	L	ON	OFF	H
L	H	OFF	ON	H
H	H	ON	ON	H

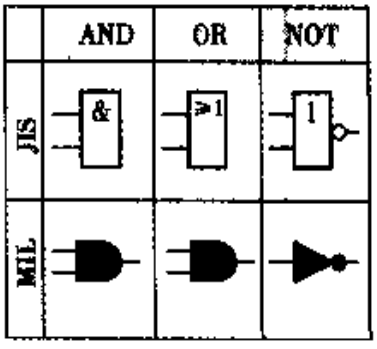
(b) OR 电路电平表

图 4 “或”(OR)电路的工作原理

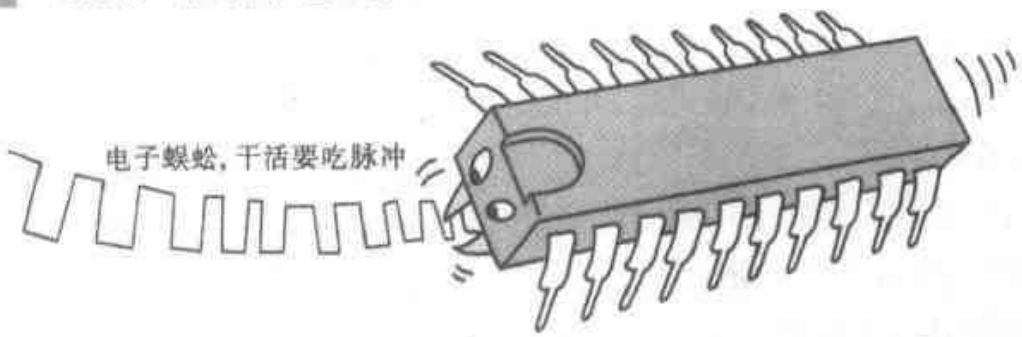
One Point

逻辑电路的符号

用逻辑电路的基本电路设计各种功能电路时，电路符号可采用右图所示二种符号(MIL 和 JIS)中的任一种，而 MIL 似乎用得多一些。

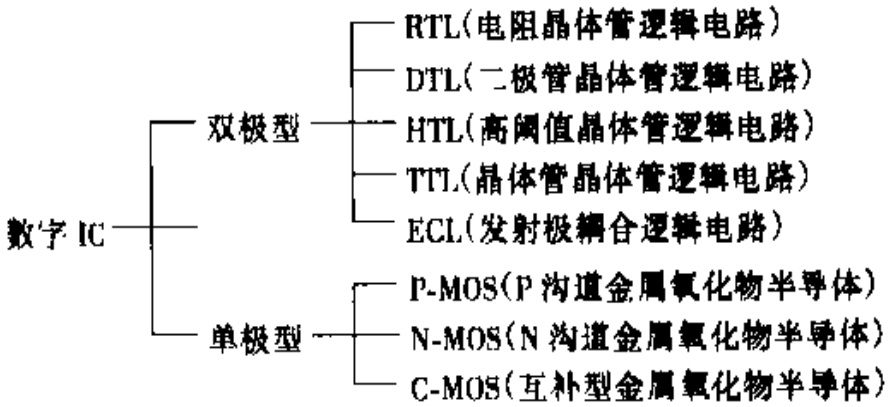


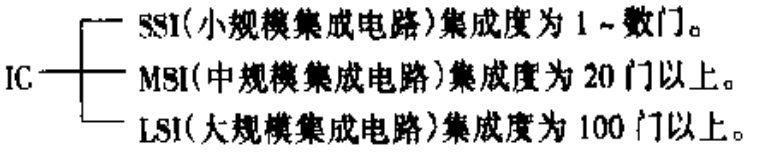
11 数字集成电路(IC)



数字 IC 分类

如今 IC 一词已不再是电子工程行业的专门用语，早就是一个谁都知道的普通词。IC 可以分类如下：





这里仅就 MOS IC 加以说明。所谓 MOS IC 就是用场效应晶体管(FET)组成的逻辑电路。

MOS IC 具有制造工序少、价廉的特点，并且由于它构造简单、面积小，故适用于制造 MSI 和 LSI。

随着制造技术的进步，C-MOS 产品越来越多，与 P-MOS 和 N-MOS 相比，它制造工序多，但由于它有耗电极少、比 P-MOS 速度高、电源电压低到 1.5～3.5V 仍可工作、扇出系数(可连接的负载元件数)大等优点，今后会大量使用。

逻辑 IC 的基本电路结构

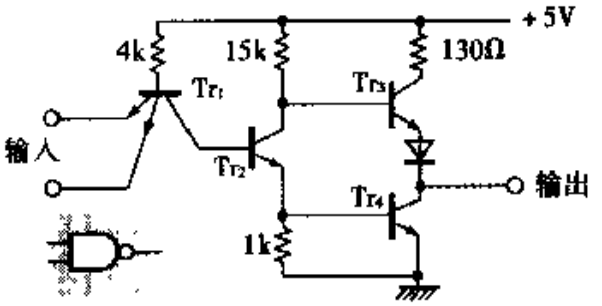
图 1 表示 TTL IC 的一种内部电路。这个电路就是常用的“与非”电路（它是由 AND 电路输出端再接上“非”电路构成的）。

这里略去对其工作原理的说明，只介绍其特点。

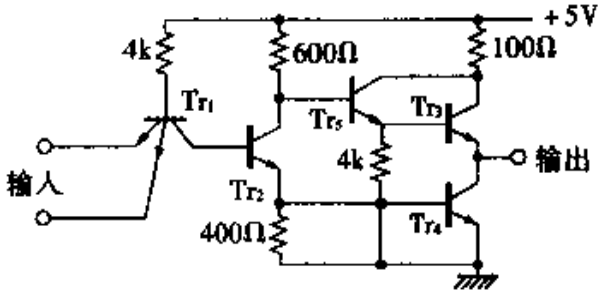
图 1(a) 所示是标准电路，输出端最多可同时接 10 个 TTL，即扇出系数为 10。

图 1(b) 是扇出系数为 30 的电路，其负载电流可达数十毫安。

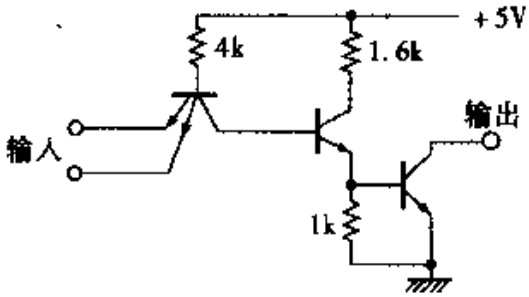
图 1(c) 是一种输出端可以直接与其它 TTL 输出端连接的电路。可用它来作为所谓接“或”电路(wired “OR”)时，可以节省一级“或”电路。



(a) 标准电路(NAND 与非门)



(b) 大功率输出电路



(c) 接“或”电路

图 1　TTL 的内部电路结构

One Point

数字 IC 的外形

右图(a)所示封装与晶体管一样，芯片被密封在一个圆形外壳中。现在一般只在特殊需要或线性 IC 中使用。

图(b)是一种 IC 芯片与外壳尺寸相差很小时的封装形式。这种形状不利于提高电路板安装密度，除特殊需要，一般不会采用。

图(c)是最一般化的封装形式，具有与印制电路布线配合性好、外壳机械强度高等优点。



(a) 草帽形

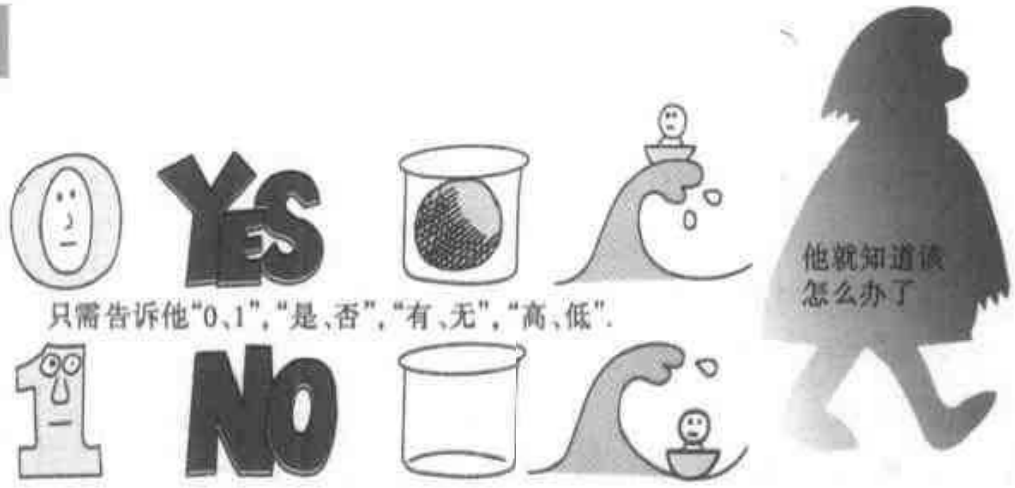


(b) 扁平形



(c) 双列直插形数字 IC 的外形

12



数字 IC 的基本电路

"与"、"或"、"非"电路是数字 IC 的基本电路。而实际当中,"与非"(NAND)和"或非"(NOR)电路(图 1)应用得更多一些。

"与非"电路是将"非"和"与"组合在一起的电路,它的输出就是将输入进行"与"运算(逻辑乘)后再加以否定。"与非"的数学表达式(称为逻辑公式)为$C=\overline{A\cdot B}$(读为 $A\cdot B$ 非)。

"或非"电路是将"非"和"或"组合在一起,它的输出是将输入进行逻辑"或"运算后再加以否定。其逻辑式为$C=\overline{A+B}$(读作 $A+B$ 非)。

为什么"与非"和"或非"电路用得更多呢?这是由于用图 2 那样的组合,能够实现其它电路同样的功能,应用更加灵活。



NAND = NOT + AND
逻辑式

$C=\overline{A\cdot B}$

A	B	C
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

输入输出关系表
(真值表)
式中 0: 0V = L
1: 5V = H



NOR = NOT + OR
逻辑式

$C=\overline{A+B}$

A	B	C
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

输入输出关系表

图 1 "与非"、"或非"电路的功能

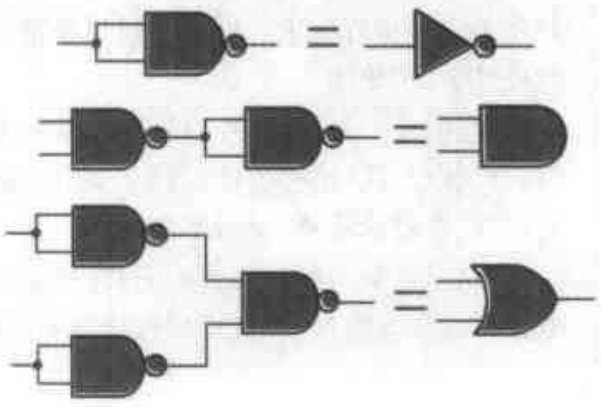


图 2 "与非"电路的变形

基本电路组合

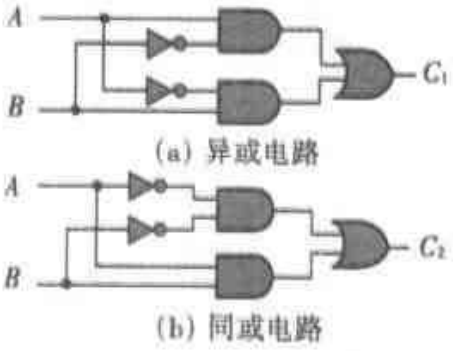
将数字 IC 器件进行各种组合，可以制成具有各种功能的逻辑电路。

集逻辑电路之大成者是计算机。

关于计算机的各种电路将在"数字电路入门"一章中加以介绍。

读者可能已经注意到：图 3(a)、(b)所示的输入输出的关系正好相反。图 3(c) 示出了用 TTL 做成的多谐振荡器，用晶体代替图中的电容器 C，就可作为计算机的基本频率发生器来使用。

图 3(d) 的功能是由 R-S FF 将 $D_0 \sim D_3$ 的信号分配给 $A_0 \sim A_3$ 或 $B_0 \sim B_3$，称为**多路转换电路**。

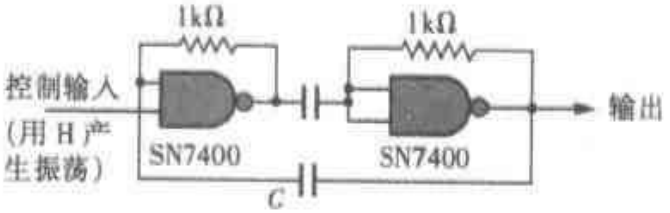


(a) 异或电路

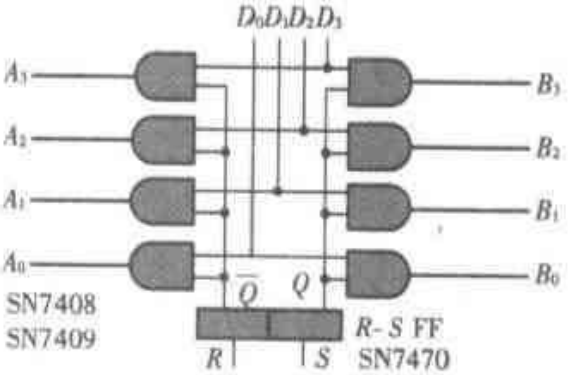
(b) 同或电路

A	B	C_1	C_2
0	0	0	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

(a)、(b)的真值表



(c) TTL 多谐振荡器



(d) 简单的多路转换器

图 3　组合逻辑电路

One Point

图 3(d)所示电路功能分析

双稳态多谐振荡器又称触发器。图中的 R-S FF 即为其中的一种。它具有这种功能，即：令 R 为 1(H)、S 为 0(L)，则 Q 为 1(H)。与 Q 相反，$\overline{Q}$ 为 0(L)。

在图(d)的电路中，当 D_0 为 1、D_1 为 0、D_2 为 0、D_3 为 1 时，如令 Q 为 1，$\overline{Q}$ 为 0，则 B_0 为 1、B_1 为 0、B_2 为 0、B_3 为 1，即 $D_0 \sim D_3$ 的状态从右侧输出。如令 $\overline{Q}$ 为 1、Q 为 0，则 $D_0 \sim D_3$ 的状态从左侧输出。这是一种具有切换功能的电路。

13 A-D、D-A 转换器



数字与模拟的接点

将模拟量转换为数字量由计算机进行处理从而得到测量数据,或者是将数值处理的数据输出转换成模拟量来进行控制。现代电子技术中,这类工作越来越多了。A-D、D-A 转换器是连接模拟量和数字量的器件。图 1 是逐次比较型 A-D 转换器的原理图。

这种 A-D 转换器的特征是用环形计数器从高位开始建立数字位,再经 D-A 转换与模拟输入相比较,转换时间与寄存器的位数无关,而是固定的。

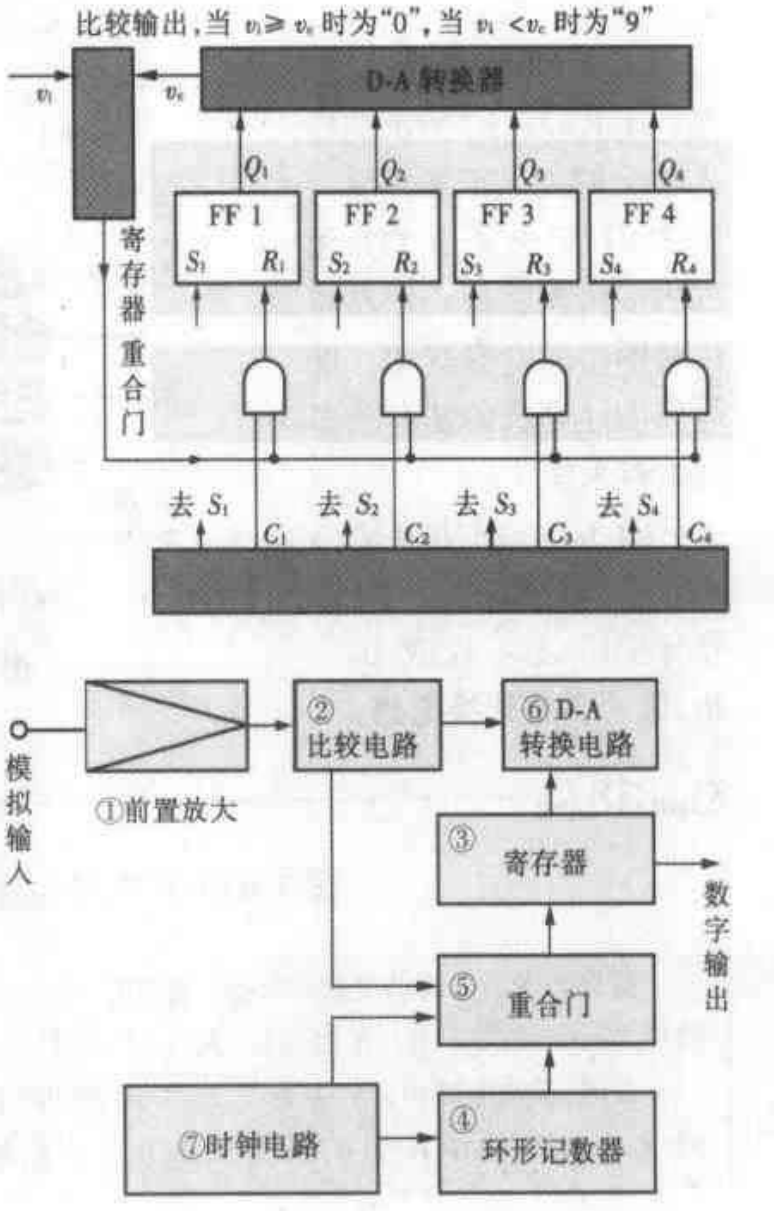


图 1 逐次比较型 A-D 转换器原理图

D-A 转换器

图 2 所示是电流相加型 D-A 转换器，常用于组装简单电路的场合。

为分析它的工作原理，我们先假定 $B_0 \sim B_3$ 所加电压都是 H 时为 +5V，都是 L 时为 0V。

放大电路的增益 A_v 为

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

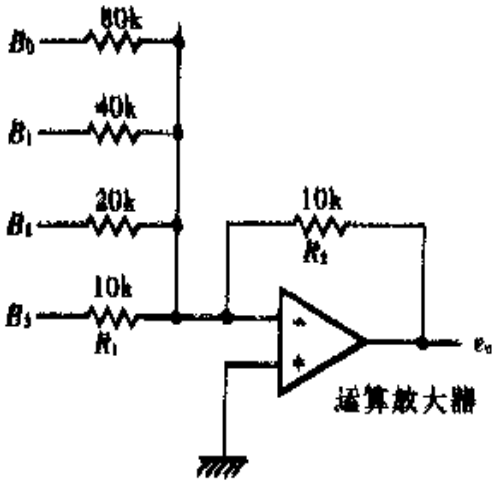


图 2　电流加法型 D-A 转换器

R_2 固定为 10kΩ，R_1 为 10 ~ 80kΩ 范围内分为四档的 4 个电阻，于是 A_v 也就是 -1，-1/2，-1/4，-1/8。现在设只有 B_3 是 H，其它均为 L，则 e_o 为 -5V。如设只有 B_1 是 H，其它均为 L，则 e_o 为 -1.25V。又如设 B_1 和 B_3 是 H，其它为 L，则 e_o 为 -6.25V。这样将 $B_0 \sim B_3$ 分别设为 H 或 L 进行组合，e_o 就可得到 16 种输出。$B_0 \sim B_3$ 是在 H 或 L 两种状态的数字量。e_o 的精度决定于输入端于数目，其变化几乎是连续的模拟量。也就是说，这种电路是将数字量转换成模拟量的电路。

One Point

逐次比较型 A-D 转换器的工作过程(参见图 1)

①用复位脉冲使寄存器复位后，向 S_1 发出一个与时钟脉冲同步的脉冲，于是 FF1 被置"1"(Q_1 成为 1)，寄存器中的内容为 1000。

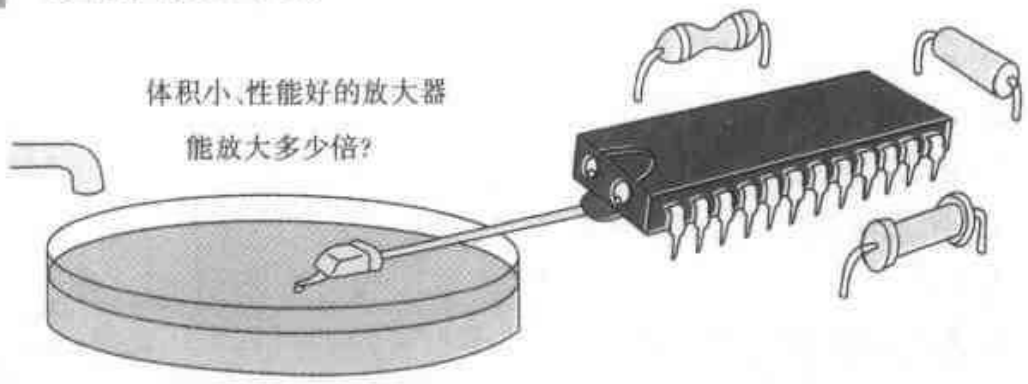
② D-A 转换器将寄存器的内容转换成模拟电压 v_c，送给比较电路。

③将 v_i 和 v_c 进行比较，如 $v_i \geq v_c$ 则输出"0"，重合门关闭，FF1 维持置位状态。

④第二个时钟脉冲来到，S_2 使 FF2 置"1"，D-A 的输出为相当于 1100 的电压 v_c。这时如果 $v_i < v_c$，则比较器输出为"1"，重合门半开着，下一个脉冲来到，S_3 为"1"时，C_2 为 0，FF2 被复位，寄存器从"1100"变成"1000"。

⑤这样，第 4 个数字位的比较过程一结束，寄存器中的内容就给出数字量输出。

14 运算放大器



线性 IC

如前所述，IC 有数字 IC 和模拟 IC 两类。模拟 IC 按用途分类如表 1 所示。另外，输入 - 输出特性为线性(正比)关系的称为线性 IC。其中，模拟计算机中所用的一种放大器，可以从直流到高频都具有放大功能，称为**运算放大器**。

表 1　模拟 IC 按用途分类

通用型	电压比较器
	宽频带(视频)放大器
	稳压器
专用型	高频(含中频)放大器
	低频电压放大器
	低频功率放大器
其它	计时器
	模拟开关
	A - D 转换器
	调制器
	LED 驱动器
	其它

运算放大器的符号如图 1 所示。当差动输入型的输入按图 1(b)(1)那样连接时，e_i 和 e_o 相位相反。如按图 1(b)(2)那样连接时，e_i 和 e_o 相位相同。两种电路的放大倍数分别为：

(1)　$A_v = \dfrac{e_o}{e_i} = -\dfrac{R_o}{R_i}$

(2)　$A_v = \dfrac{e_o}{e_i} = 1 + \dfrac{R_o}{R_i}$

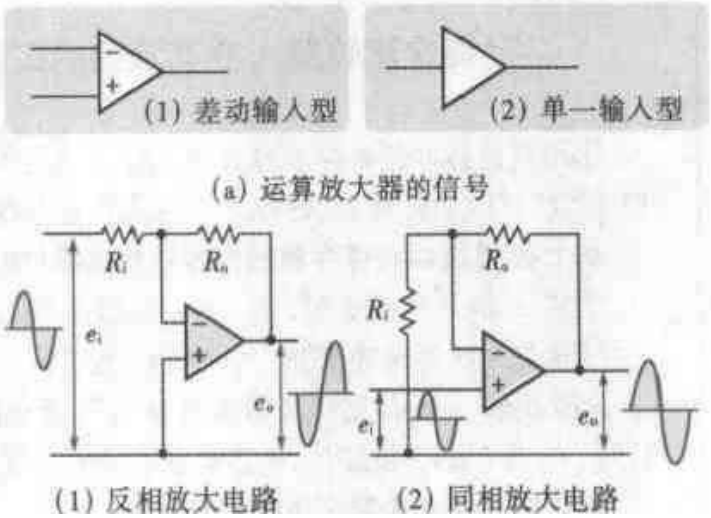


图 1　运算放大器基础

运算放大器的应用

如前所述，运算放大器的应用是多方面的，这里仅举出二个基本例子。

图 2 所示是一个测温电路。同相输入端半固定，反相输入端输入热敏电阻上的电压变化，是一个反向放大电路。如在该电路输出端连接量程为 10V 的电压表，其温度测量范围为 0～100℃。

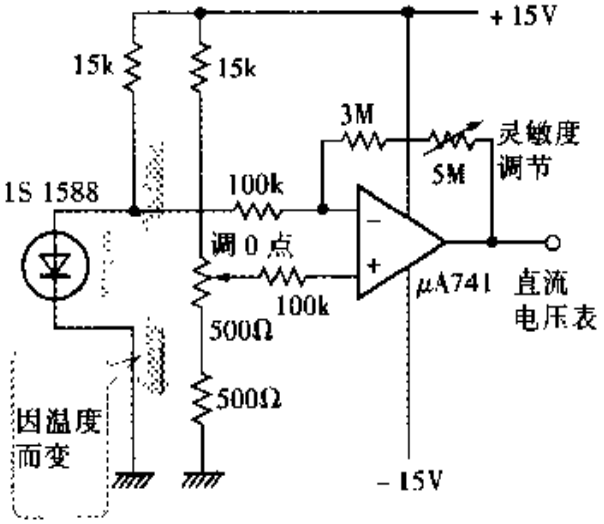


图 2　测温电路

图 3 所示是扩大电表量程的例子。该电路的放大倍数为 $A_v = 1 + (1000/10) \approx 100$，输入为 1mV 时，输出电压为 0.1V，流过 1mA 量程电流表的电流是 0.1mA。如把电流刻度换算成电压刻度，即可成为直流毫伏(mV)表。

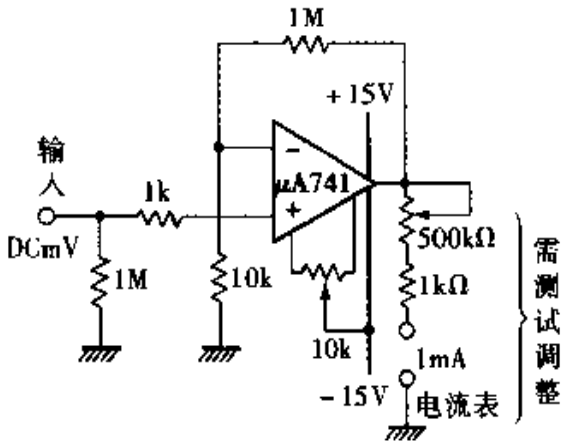


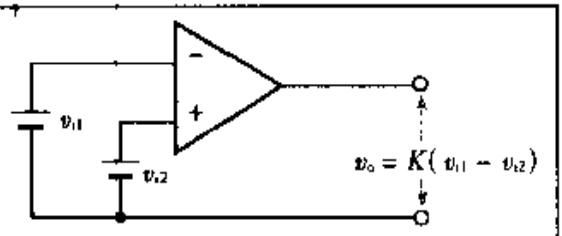
图 3　简易 mV 表

One Point

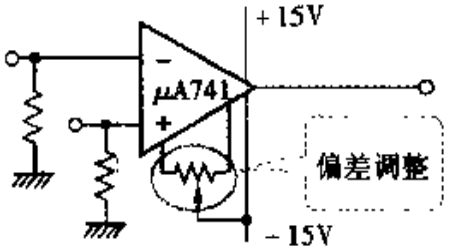
运算放大器的偏差(静态误差)

在右上图所示的运算放大器电路中，输出为 0 时输入电压($v_{i1} - v_{i2}$)并不一定为 0，这个($v_{i1} - v_{i2}$)就称为运算放大器的偏差电压。

偏差会因电源电压和温度的变化而变化，这种现象称为漂移。如右下图所示，运算放大器中备有偏差调整端子，如图所示，在这个端子上接一个可变电阻，就能够对偏差进行补偿或调整。



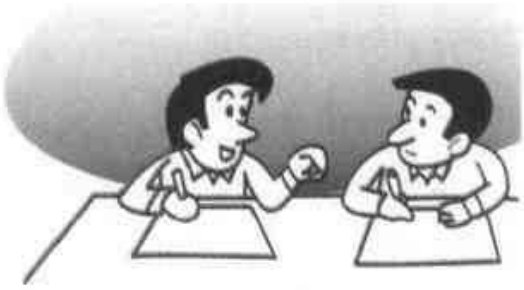
差动输入型放大器



偏差调整法



本章小结



1　按照二极管的连接方法，整流电路可以分为半波整流和全波整流两种(p. 94)。

2　稳压电路是反馈控制的应用，其电路由基准值设定、检测、控制等几部分构成。也有将全部电路做成一整块的 IC 稳压电路(p. 96)。

3　正弦波振荡电路分为反馈型和负阻抗型，现在反馈型的应用占绝对多数，故这里主要介绍反馈型(p. 99)。

4　反馈型振荡电路中，用于高频方面的以 *LC* 振荡电路为主，用于低频方面的则主要采用 *RC* 振荡电路(p. 99, 100)。

5　非正弦波振荡器多采用多谐振荡电路，它是利用电子开关控制 *RC* 充放电来产生振荡的电路(p. 102)。

6, 7, 8.　脉冲电路包括脉冲波形的产生、整形、分离等电路。电路中巧妙地利用了 *R*、*C* 和电子开关的功能(p. 104 ~ p. 109)。

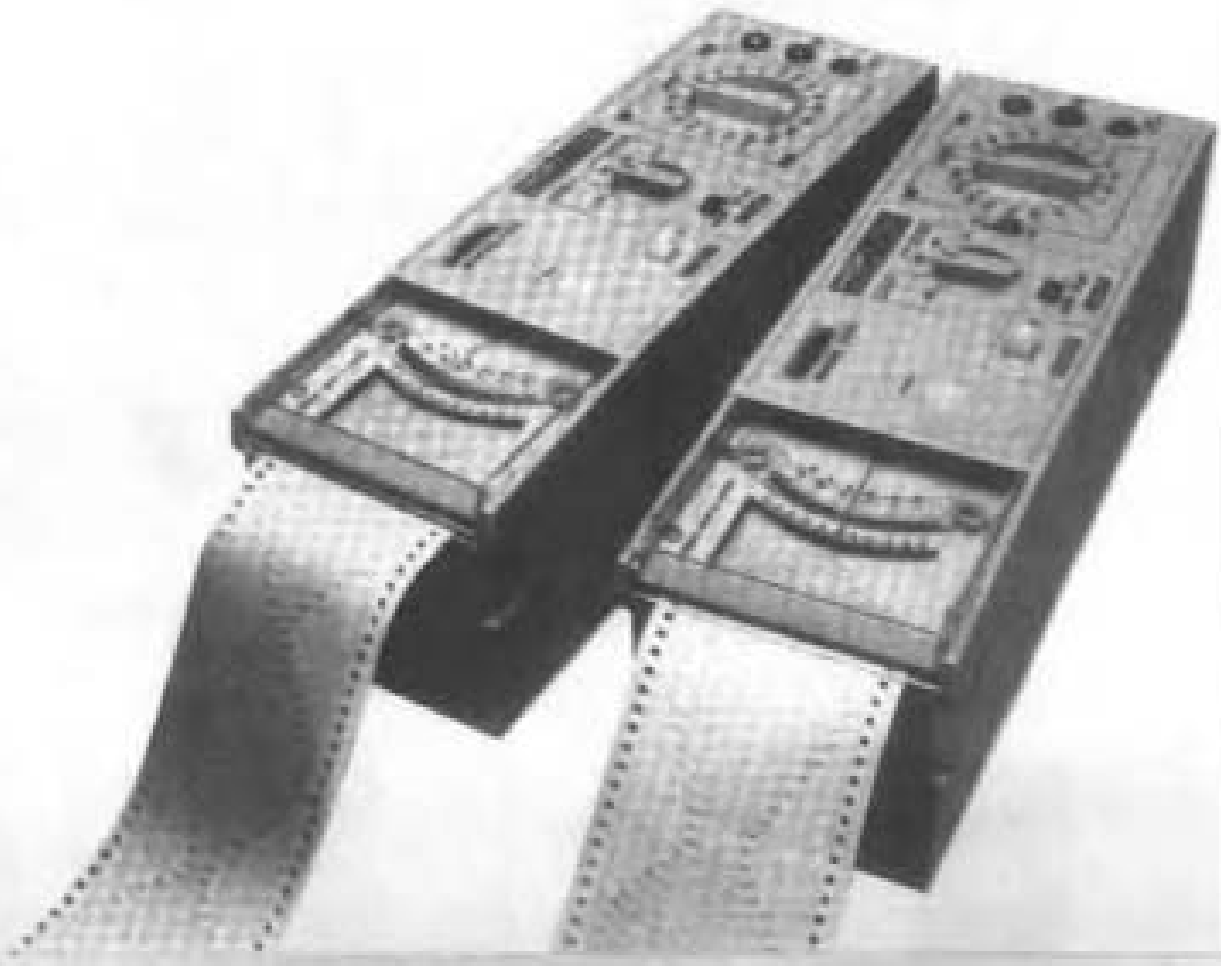
9　脉冲电路的一个大的应用领域是数字电路。与数字量相对应的是模拟量，而今数字技术与模拟技术的融合作为一种新技术已引起人们的关注和应用(p. 110)。

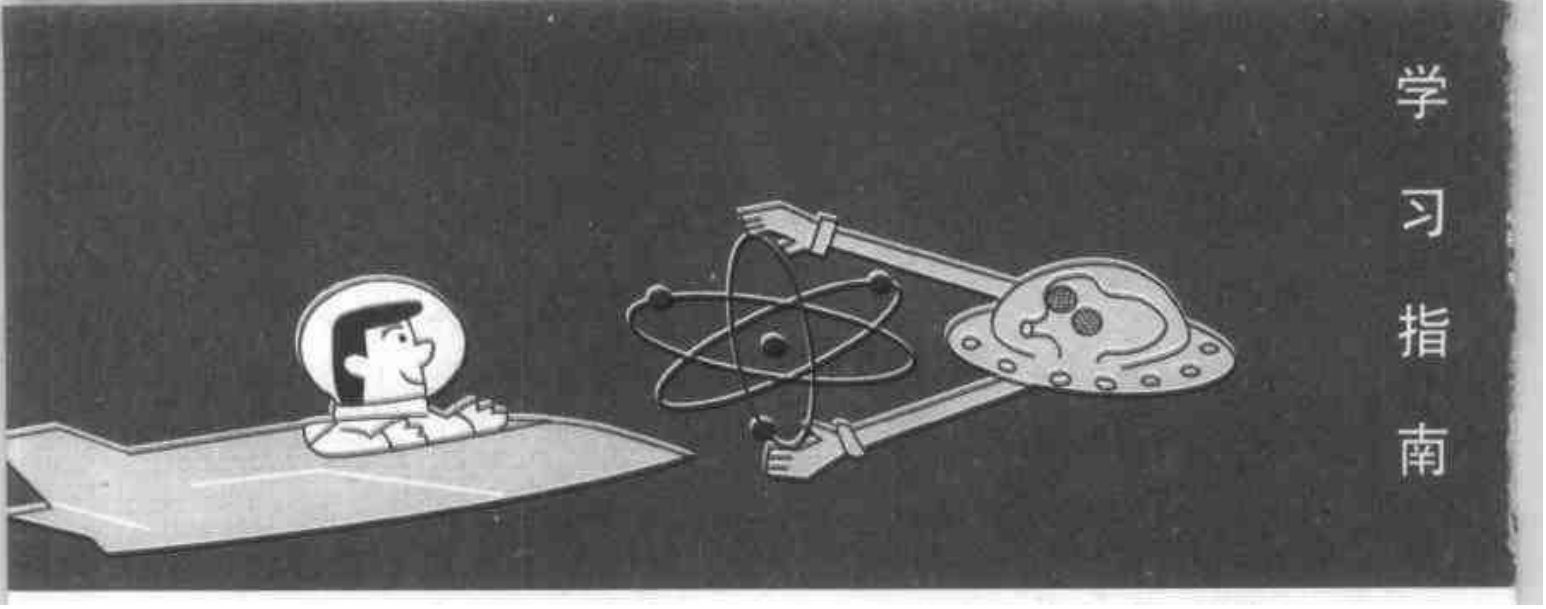
10, 11, 12.　数字电路是用电子开关来处理脉冲的电路，二进制逻辑是分析数字电路的基本知识，计算机是数字电路之集大成者，分析计算机的工作原理亦需要数字电路的知识(p. 112 ~ p. 121)。

重要词汇

反馈电路(feed-back loop)
间歇振荡器(blocking oscillator)
单结型晶体管(UJT)(Uni Junction Transistor)
电子开关(electronic switch)
方波(square wave)
脉冲波(pules wave)
双稳态多谐振荡器(flip flop)
TTL(Transistor-Transistor Logic)
MOS IC(Metal Oxido Semicondutor IC)
扇出(fan out)

4 电子测量



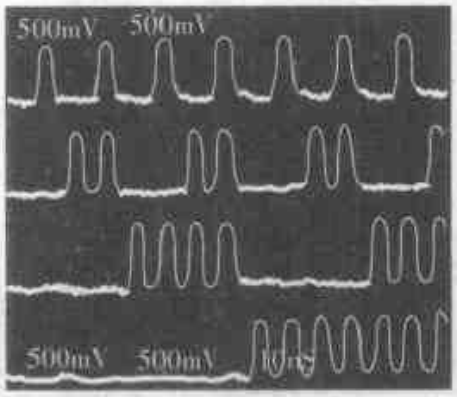


学习指南

与电子学有关的各种技术正在飞速发展，支持这些技术的是测量技术。

测量的基本方法是将被测量与其基本单位进行比较，并求得以基本单位的倍数来表示的数值。

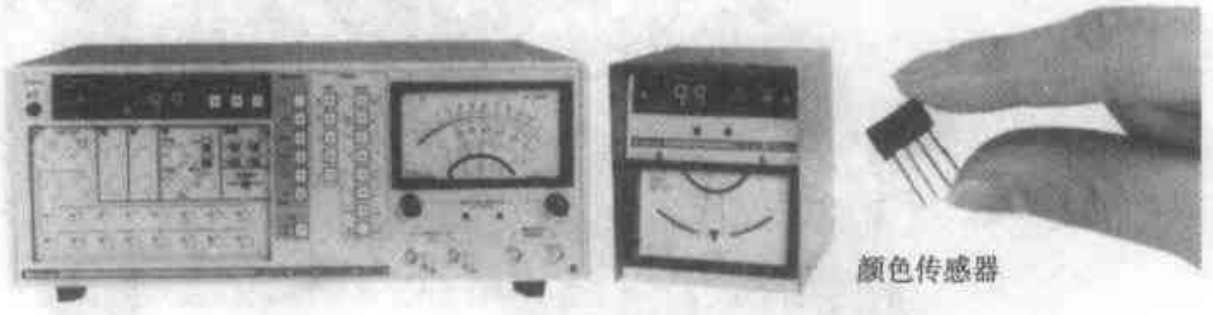
例如，用万用表测量某线圈的电阻值，读得 2.5Ω，我们即可断定其电阻值为 1Ω 单位量的 2.5 倍。这种被测量与其单位进行直接比较的测量方法称为**直接测量**。而先测出电阻、长度、截面积后，再由此计算出电阻率的测量方法称为**间接测量**。



脉冲的产生

电子测量就是测量与电子现象有关的量，如电压、电流、频率等。

为了正确测量以电学量为主要成分的各种物理量，除了正确地测量方法外，正确使用与测量目的相适应的测量仪器也是非常重要的。

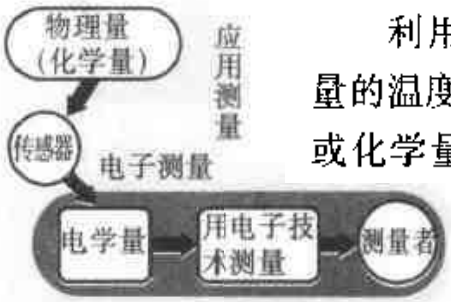

音频综合测量仪

颜色传感器

本章将学习与测量有关的基本知识，还要学习高频领域的各种量的测量以及以时间为参变量的各种电学量的测量方法。

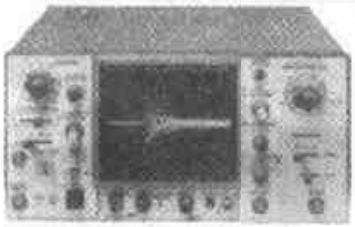


航天飞机内的测量仪表



利用电子测量技术对非电量的温度、速度或流量等物理量或化学量进行测量的方法称为**电子应用测量**。电子测量可使以往无法测量的量成为可测量，有很高的使用价值。

下图示出了电子测量和电子应用测量的范围。



数字存储示波器



与 $X-Y$ 记录仪搭配

本章要学习的内容

高频对电路元件有何影响？学习高频电流的测量方法、电子电压表的原理、用万用表测量输出电压等。

学习高频功率的测量，用万用电桥测量 L、R、C，X-Y 记录仪的原理，自动平衡电位差计的原理等。



学习 Q 表的原理以及 L、C 的测量方法，LC 吸收式和外差式频率计、数字频率计的原理，李萨育图等。

学习非电量的测量方法及传感器。了解温度、压力、转速的测量方法，以及判断气体有无的测量方法。



了解测量误差的原理，测量仪表的固有误差，动圈式仪表的原理结构，示波器的原理等。

1 测量及测量误差



测量误差是怎样产生的

用电气仪表测量电学量时，测得值（测量值）和被测量的实际值（真实值）之间通常存在误差。

产生误差的原因可有以下几点。

（1）因测量人员不注意而将指示值读错或记录错(图 1)。

（2）测量仪器自身的固有误差（图 2)。

（3）环境温度变化，外部磁场和仪器内部电感的影响(图 3)。

消除误差的方法如下：

（1）改善测量环境，认真读取数据，更换测量人员。

（2）细心调整仪器，注意对仪表进行校正。

（3）预先求出温度系数，进行理论计算。使用适合于测量对象的仪表。

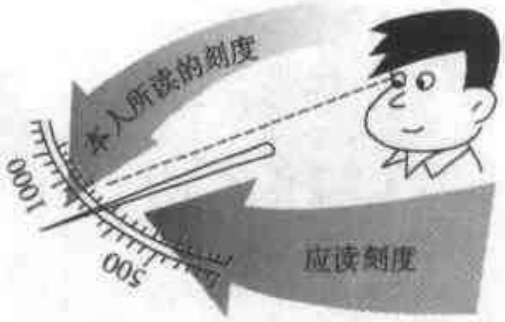


图 1　刻度读错引起的误差



图 2　仪器不准引起的误差

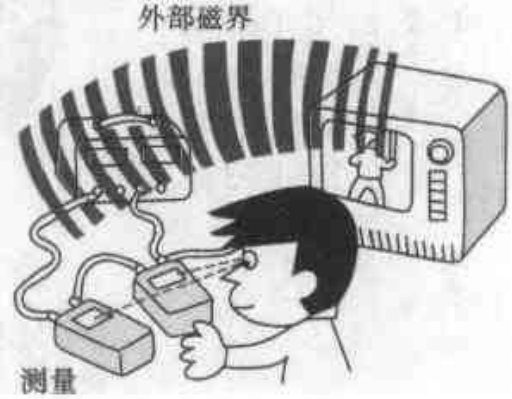


图 3　误差源太多

误差与修正

由于上述因素的影响，造成测量值和真实值的不同，测量值 T 和真实值 M

的差 ε 称为**误差**(error)($\varepsilon = T - M$)。

误差与实际值的百分比值（$\varepsilon / M \times 100$）称为**百分比误差（相对误差）**。

测量仪表固有误差的处理

如图 4 所示，根据误差的大小指针式仪表可分为不同级别。例如，2.5 级仪表表示其误差小于最大刻度值的 2.5%。图 5 所示是配电盘式交流电流表。

量程为 100V 的 2.5 级电压表，其自身误差的最大值应小于 $100 \times 0.025 = 2.5$ [V]。

这里特别需要说明的是，必须注意这个 2.5V 误差是仪表自身所固有的，与测量值的大小无关。

所以，如果用该电压表测量 10V 左右的电压，就难以得到可信的测量值。测量中应选用量程合适的电压表，使指针偏转在较大的位置。

准便携式	0.2 级	实验室、研究所等处使用的大型次级标准仪表	小于 ±0.2%
便携式	0.5 级	普通携带式仪表	小于 ±0.5%
	1.0 级	小型携带式仪表	小于 ±1.0%
配电盘式	1.5 级	配电盘用电表	小于 ±1.5%
	2.5 级	配电盘用小型仪表	小于 ±2.5%

图 4 按仪表的允许误差分类



图 5

One Point

真实值的范围

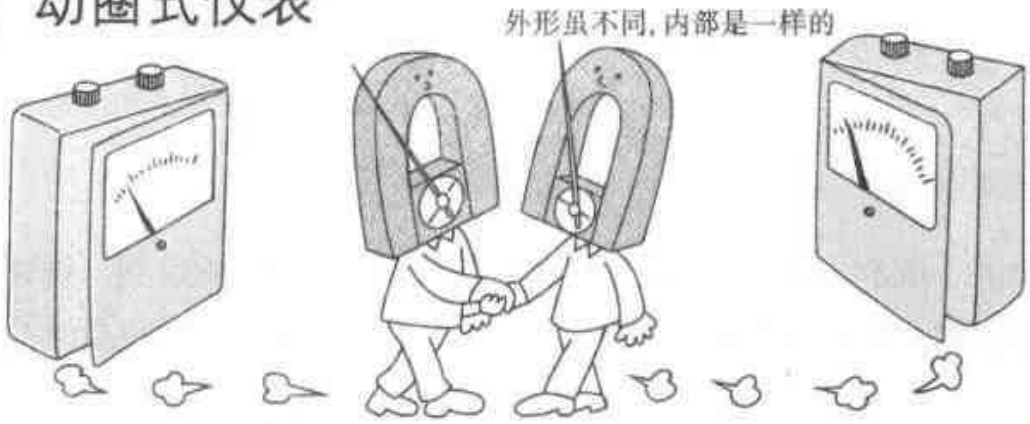
问 用 0.5 级最大刻度为 10mA 的电流表测量电流时，如果指针指示 5mA，其真实值的范围为多少毫安？

答 $10 \times 0.005 = 0.05$ [mA]，$5 - 0.05 = 4.95$，$5 + 0.05 = 5.05$，真实值的范围为 4.95 ~ 5.05mA。

问 用 0.5 级最大刻度为 150V 的电压表测量电压，如果指针指示 100V，真实值的范围为多少？

答 99.25 ~ 100.75V

2 动圈式仪表



电气仪表的特点及其分类

电气测量仪表的特点是它具有直接测量并指示电压、电流和功率等电学量的能力。

电气测量仪表按工作原理分类如图 1 所示。虽然图中给出了 7 种类型，但实际中广泛使用的还是动圈式仪表。整流式和热电式仪表则是与动圈式组合构成的。

种类	符号	使用电路	使用范围		
			电流[A]	电压[V]	频率[Hz]
动圈式		直　流	$5\times10^{-6}\sim10^{2}$	$10^{-2}\sim10^{3}$	
动铁式		交(直)流	$10^{-2}\sim3\times10^{2}$	$10\sim10^{3}$	<500
电动式		交直流	$10^{-2}\sim10^{2}$	$1\sim10^{3}$	$<10^{3}$
整流式		交　流	$10^{-4}\sim10^{2}$	$3\sim10^{3}$	$<10^{4}$
热电式		交直流	$10^{-3}\sim5$	$0.5\sim150$	$<10^{8}$
静电式		交直流		$1\sim5\times10^{5}$	$<10^{8}$
感应式		交　流	$10^{-1}\sim10^{2}$	$1\sim10^{3}$	$30\sim10^{2}$

图 1　按仪表工作原理的分类及使用范围

仪表的主要单元

仪表的主要构成单元中，下面三个是不可缺少的：

(1)**驱动装置**。它是产生与被测量相对应的转矩的装置，由于该转矩的作用，仪表的可动部分产生位移(运动)。驱动装置的构造随仪表的工作原理而异。

(2)**控制装置**。由驱动转矩使仪表运动部分转动。为使指针停在与被测量相应的某位置上，就必须有一个装置，它可以产生与驱动转矩相反的作用转矩（控制转矩），常利用螺旋弹簧、重力，或永磁铁的引力等来实现。

(3)**阻尼装置**。为便于读取数据，要对运动部分加以适当阻尼。可以采用空气阻尼，电磁阻尼等。如果没有阻尼，指针就会一直摆动下去。

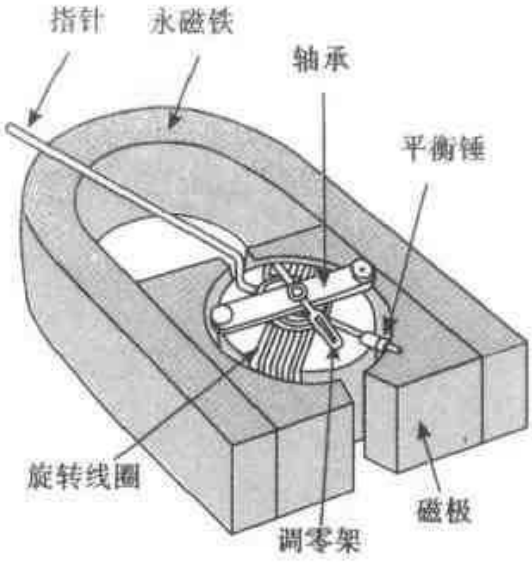


图 2　动圈式仪表的构造

动圈式仪表的原理与构造

动圈式仪表是电气仪表中最具代表性的仪表，图 2 是动圈式仪表的原理图。在各种仪表中它是精度最高、使用范围最广的直流仪表，其驱动转矩由永久磁铁的磁力线与电流的相互作用来获得。

如果图 3 所示线圈中流过被测电流，所产生的驱动转矩使线圈转动，停留在与螺旋弹簧的控制转矩相平衡的位置。该刻度就是平衡的指示值。由于这种仪表中有永磁铁，所以重量比其它形式的仪表要大。

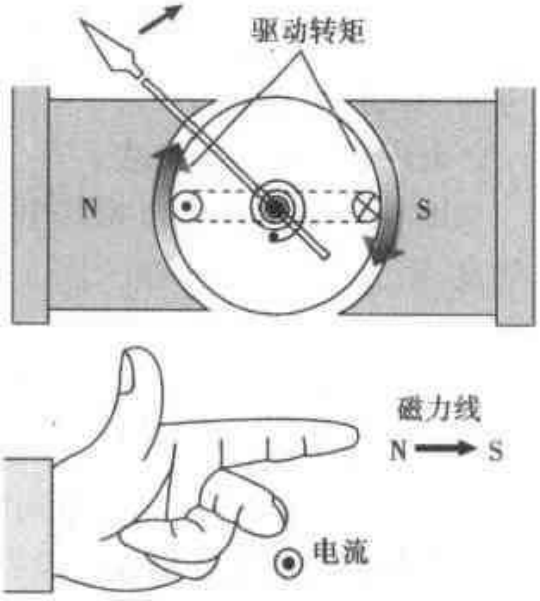


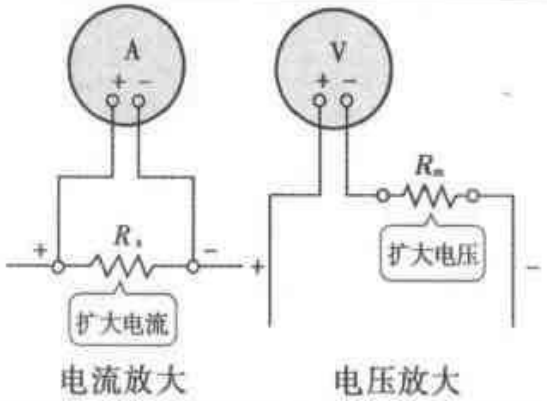
图 3　旋转方向

One Point

动圈的电流容限

旋转线圈的电流容限为 5 ~ 50mA，大于该值则需要使用分流电阻 R_s 进行分流。分流器的电压降通常为 45 ~ 100mV。

这种电表在作电压表使用时，应串联接入扩大量程的电阻 R_m。



3 万用表



万用表的特点

万用表是一种用一台仪表就可以测量直流电流、电阻、交流电压、低频功率等多种参数的仪器。它重量轻、测量范围广,常用于各种电气设备和电路的试验与调整。

万用表又称为电路表。

图 1 示出的是模拟式万用表的外观,图 2 为其表盘刻度。图 3 是数字万用表的典型线路。

万用表是多用途仪表,它是由动圈式表头与半导体整流器、分流器、串联电阻、标准电阻、可变电阻以及改变量程的转换开关组装而成的。

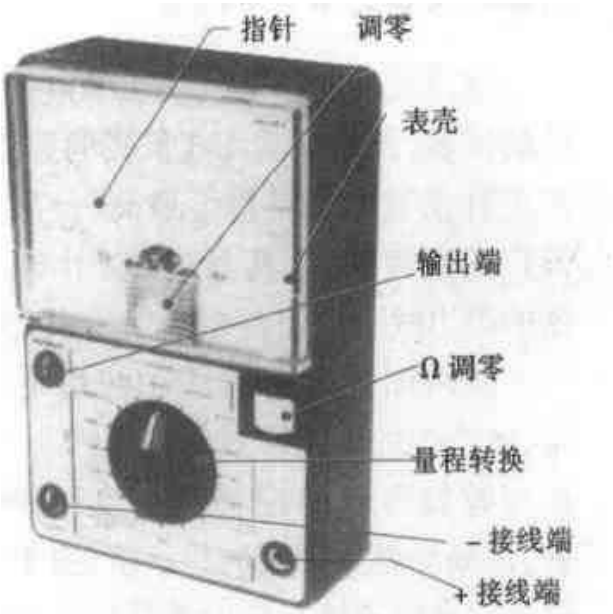


图 1 万用表外观

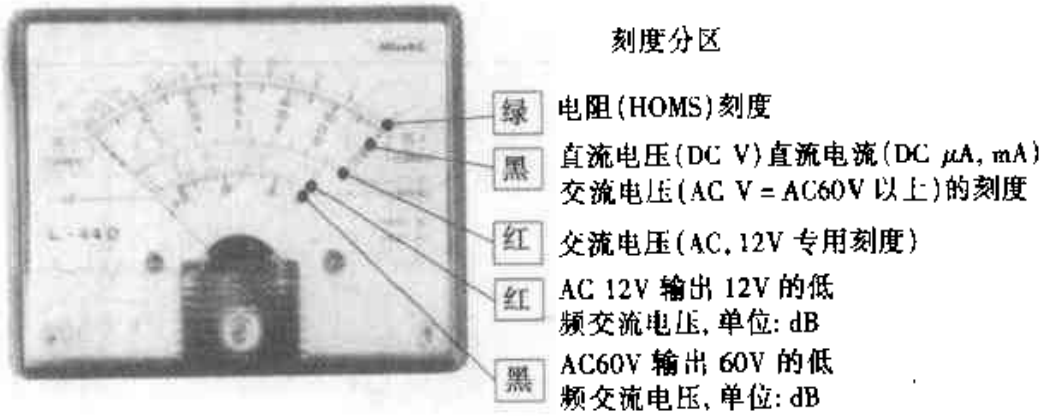


图 2 刻度的读法

万用表作欧姆表用时，电流从“－”接线端流向“＋”接线端。

数字式万用表的优点

数字万用表(图 3)具有以下优点:

①由于用数字准确显示测量结果，故没有读数误差。②采用以场效应管作输入的运算放大器，故具有高输入阻抗和高灵敏度，所以测量精度高。③易于实现自动换档和自动极性转换，携带也很方便，今后会越来越普及。

图 3 为数字式万用表的线路框图。由图可见，从测量输入端直到整流电路输出端，数字式万用表均与原来的模拟式万用表相同。不同的是数字万用表电路中增加了 A-D 转换器、计数电路和显示电路。

在放大器及传输电路中，输入和输出之比（**增益**）是非常重要的指标，设输入为 P_i [W]，输出为 P_o [W]，则增益可表示为:

$$\text{增益} = 10\log\frac{P_o}{P_i}$$

单位用 dB(读为分贝)表示。

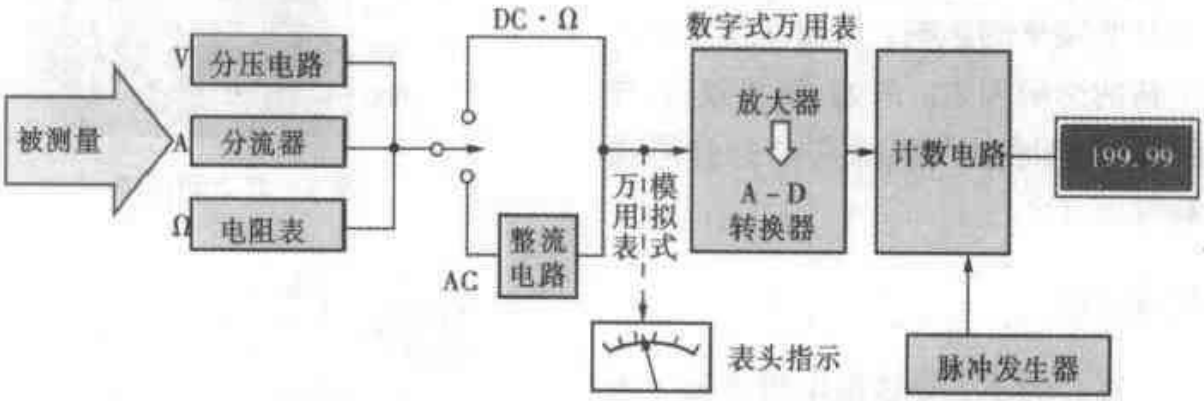
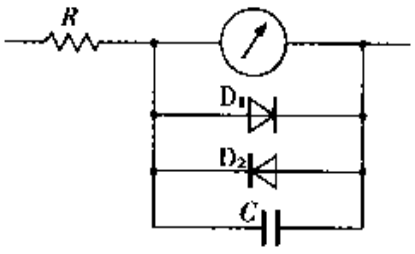


图 3　数字式万用表

One Point

你了解表头的保护电路吗?

如右图所示，表头的保护电路是由硅二极管 D_1 和 D_2 组成的。二极管在 0.6V 以下电流截止，高于这个电压时电流迅速导通。利用这一性质可以分流表头过载时的电流，从而起到保护表头的作用。



表头保护电路

4 高频电流的测量



高频对电路元器件的影响

交流频率的范围很宽，通常将高于音频（约 30～10 000Hz）的频率称为高频(图 1)。

与低频测量相比，在高频测量中，电阻器、电容器、线圈等元器件会明显受频率的影响，从而在线路中产生新的影响因素。例如，**集肤效应**、**导线分布电感**以及绝缘部分的**介质损耗**等。

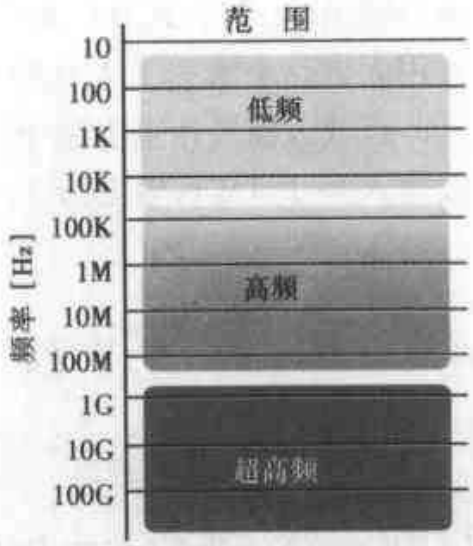


图 1 频率和范围

集肤效应

在高频下，导体的电阻将远大于用直流方法测量的电阻值，这就是集肤效应的影响。如图 2 所示，当圆形截面导体中流过交流电流时，该电流将产生同心圆形磁通。由于电流的变化，磁通也将随之变化。根据楞次定律可知，将会产生阻止电流流动的反电势。由于导线中心部分的磁通密度大，所引起的反电势也大。因而在高

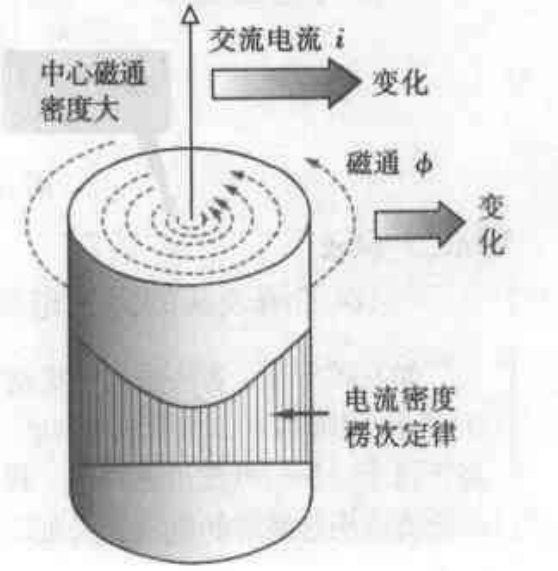


图 2 集肤效应

频下，导体内部的电流密度就变成中间小、周围大。这种现象称为集肤效应。它使我们明白，由于集肤效应，允许电流通过的截面积变小了。

因为导体的电阻与截面积成反比，截面积减小，电阻就增大，这时的电阻称为**有效电阻**。



图 3 高频电路中，一根导线也有固有电感

分布电感和介质损耗

在高频电路中，即使是一根导线也会具有电阻，而导线周围所产生的磁通会形成固有电感，频率越高其影响也越显著，称之为导线的**分布电感**（图 3）。

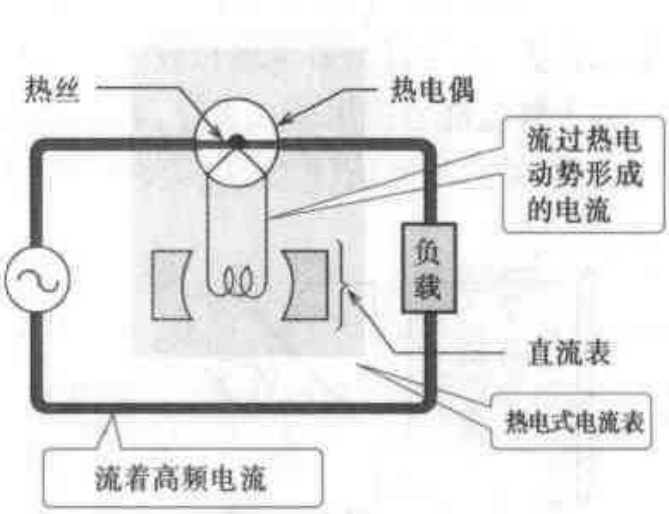
另外，在高频下电容器极间介质会产生功率损耗，称为**介质损耗**。换一种说法就是，产生介质损耗也就相当于存在等值电阻。

One Point

用热电式电流表测量高频电流

热电式电流表是由直流表头与热电偶组合而成的，如右下图所示。当热电偶的热丝流过电流时，热丝温度上升，使热电偶产生电动势。这个电动势使直流表头指针运动，从而可以读取高频电流。

图中所示的热电偶是将流过被测电流的热丝和被热丝加热的热电偶的接点一并封在一个真空玻璃壳中。



热电式电流表

5 电子电压表



高频电压的测量

高频测量仪器中，用途最广的是电压表。

高频电压表作为高灵敏度检测器，在高频测量中是不可缺少的仪器。实际中使用的高频电压表大都采用由二极管的整流作用将高频电压转换成直流电压，再由动圈式仪表读取测量值的方式。这种仪器称为**电子电压表**。

电子电压表的基本电路组成如图 1、图 2 所示。

图 1 所示是交流高灵敏度型电压表。这个形式的电压表是首先将交流输入电压放大，再将输出电流整流，从而使动圈式仪表运动。其灵敏度高，可测量 0.1mV 级的微小电压。

另一种是图 2 所示的二极管整流型电压表。这种电压表首先将交流输入电压整流，变为直流后再进行放大，推动直流表的指针运动。

由于整流部分使用了二极管，可以做成探头，并组装得非常小，且可以用到高频，常称为峰值(P 型)电子电压表(图 3)。

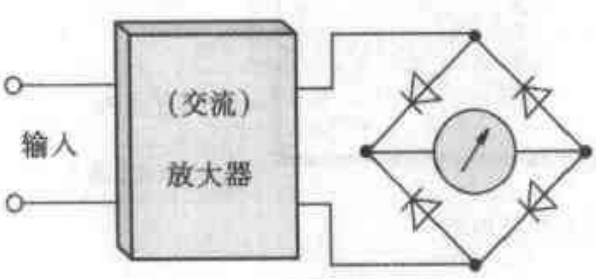


图 1　交流高灵敏型

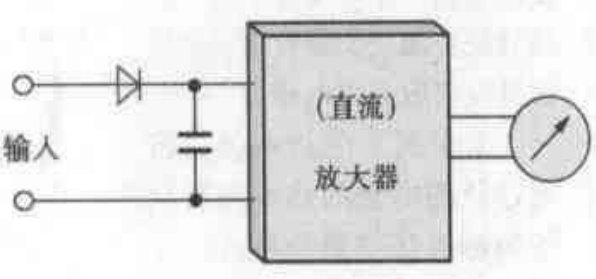


图 2　二极管整流型

峰值电子电压表的原理

如图 4 所示，设探头测量端 a、b 之间加有交流电压，我们先来看 a 端为正，b 端为负时的情况。这时二极管 D 流过电流，电容器 C_1 被充电，极性如图所示。接着 b 端变为正、a 端变为负，C_1 的充电电荷将沿图中实线箭头所示方向放电。从 C_1 和 R_1 的时间常数可知，放电是缓慢的，并且同时对 C_2 充电，极性如图 4 所示。

这样反复充放电的结果，C_2 的端电压最终充电到输入交流电压的峰值高度（即瞬时最大值，也即有效值的$\sqrt{2}$倍），电阻 R_4 的两端为直流电压，其大小与输入的交流电压成正比，此电压经直流放大器放大后使指示器动作。

称它为峰值的原因是，因其指示值为输入交流电压的峰值。峰值电子电压表的测量范围可达 10Hz ~ 7000MHz，1 ~ 300V。



图 3　电子电压表

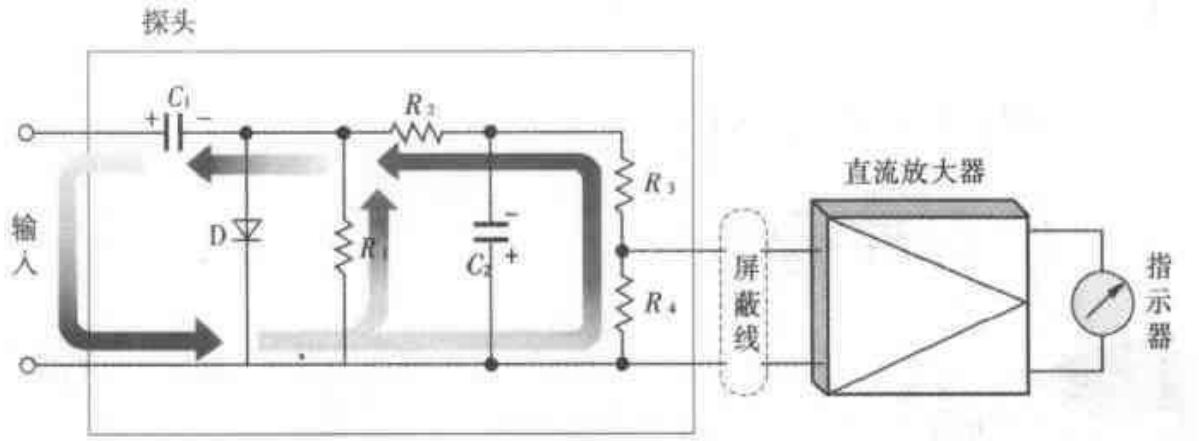


图 4　峰值电子电压表的原理

One Point

使用电子电压表的注意事项

①由于在原理上它所指示的是峰值，而表盘标刻为正弦波有效值，故输入为非正弦波时会产生误差。

②使用探头是为了防止频率升高时引线电感及电容产生谐振，从而造成测量误差。

6 频率计



LC 吸收型频率计的原理

在高频测量中，频率测量是一种精度最高的测量。吸收型频率计是一种测量高频波的频率计。如图 1 所示，电感 L[H]和可变电容 C[F]组成谐振电路，被测高频电源所产生的磁场在线圈中产生感应电压。

如果改变 C 使谐振频率变化，就可以使谐振频率与被测电源的频率相同。这可以用图 1 中的监视谐振的微安表指针偏转达到最大值时来确定。

这时，谐振频率等于被测频率 f_x：

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C_s)}}$$

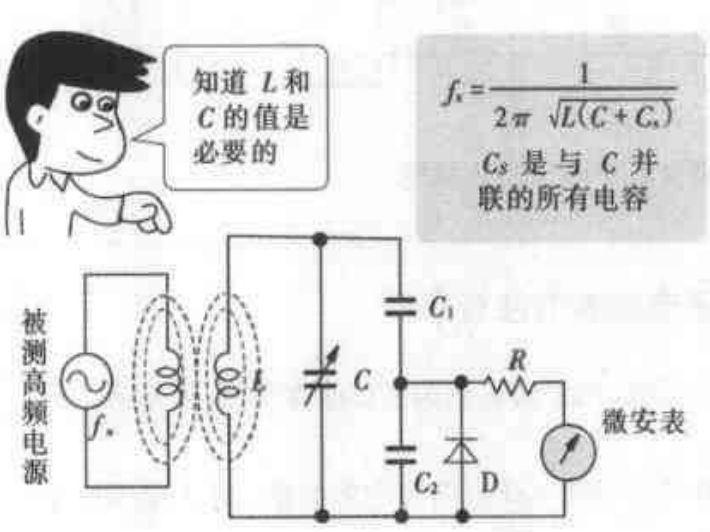


图 1　*LC* 吸收型频率计原理

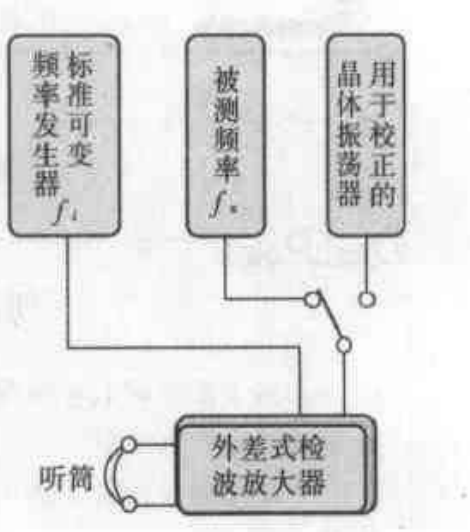


图 2　外差式频率计的原理

外差式频率计的原理

图 2 表示外差式频率计的原理。将频率已知的标准可变频率发生器的输出与被测频率的信号相混合后进行检波，改变可变频率发生器的频率，使差拍频率(拍频)为零。

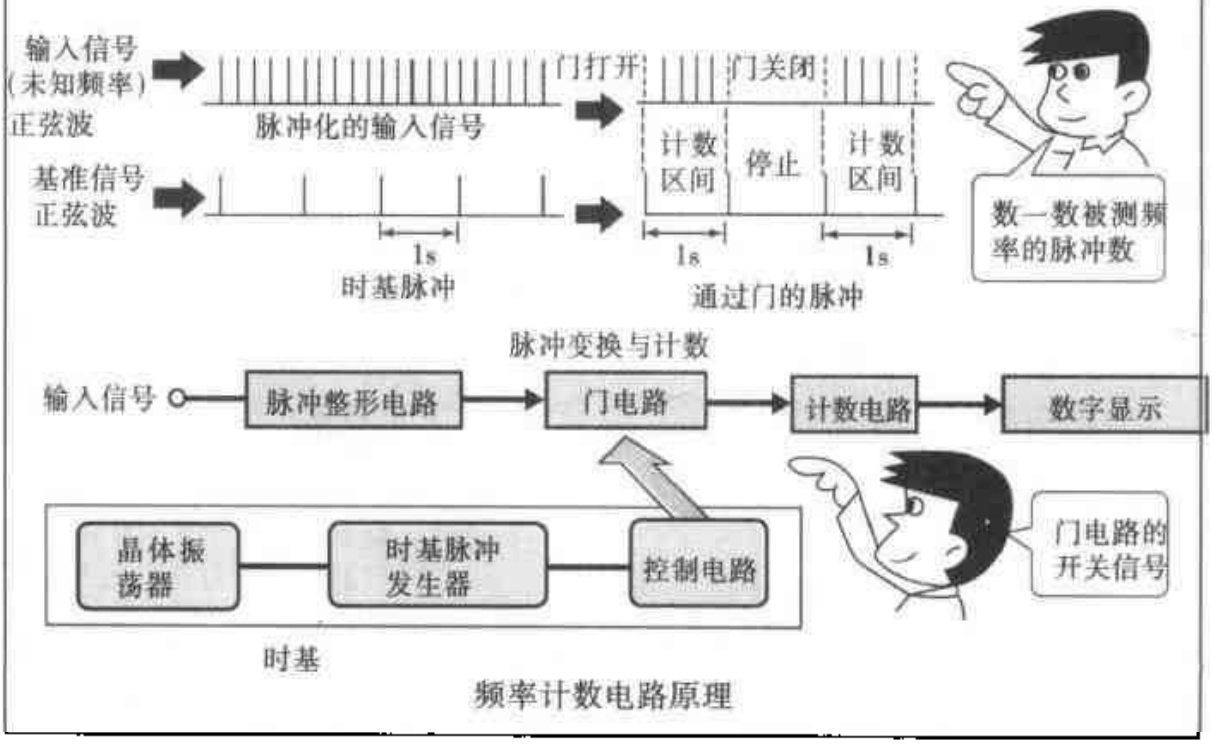
所谓**拍频**就是可变频率发生器的频率 f_i 与被测频率 f_x 之差。当这个差等于零(零差拍状态)时，频率 f_i 就等于被测频率 f_x。改变 f_i，拍频发生变化，将这个拍频信号放大、检波，就能由听筒听到声音在变化。当声音听不到时，就表明到达零拍频，即 f_i 接近于 f_x。

当 $f_x - f_i$ 在数十赫以下时，"咚、咚"声就变小了。如变成 $f_i = f_x$，声音就听不到了。这时从 f_i 的刻度就可以知道 f_x。由于 f_i 与测量精度有关，所以测量时要用晶体振荡器进行校正。

One Point

数字式频率计

直接用数字来显示被测频率值的频率计称为数字式频率计(频率计数器)。将被测输入信号进行脉冲整形后，再对该脉冲进行计数。例如，门电路按标准时间打开 1 秒钟使被测频率信号通过，于是根据其脉冲数就能测得被测频率的值。由晶体振荡器得到的频率数控制门电路开闭的时基，脉冲很准确、其周期为 1 秒。



频率计数电路原理

7 示波器



示波器的原理

示波器是能在很宽的频带内用于观察波形的仪器。

示波器的核心部分是示波管，又常称为 CRT(Cathode Ray Tube)。电子枪发射的电子束（阴极射线）碰到荧光屏时荧光屏发光，而由于静电力的作用电子束发生偏转。示波器可以在极高频率下使用。

如图 1 所示，仅将正弦交流电压加在偏转板上，荧光面上电子束的摆动只能形成直线，这时如果进一步在水平方向上再加上锯齿波电压，使电子束摆动(称为扫描)，示波管的荧光屏上就扫描出正弦交流波形。

示波器的电路如图 2 所示。

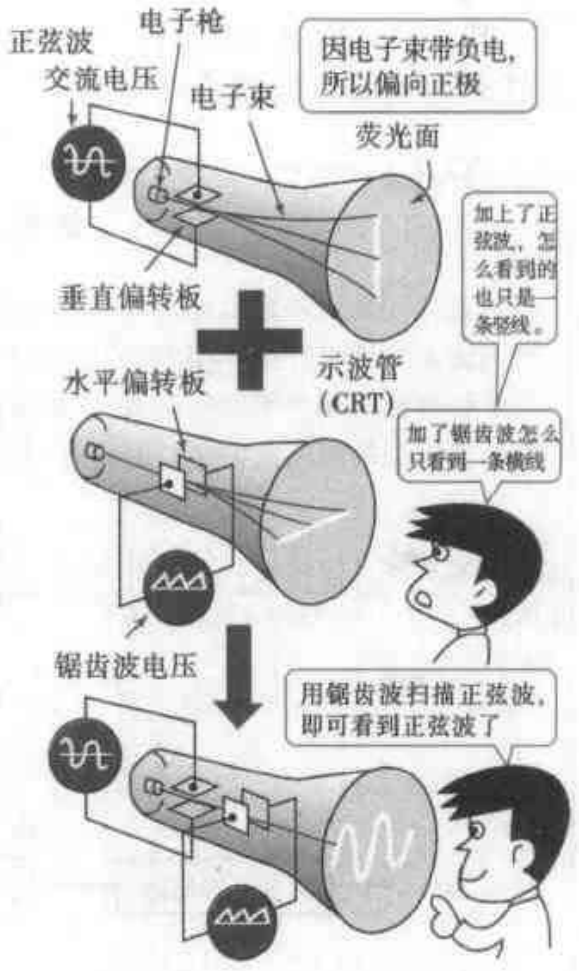


图 1　垂直偏转和水平偏转重叠就可以进行波形观测

同步

观察波形最重要的事是使波形静止于示波屏上。但是，如果被观察波形的周期偏离锯齿波的周期，若干个波形出现在屏幕上，就会影响观察。为了使被测波形静止，示波器中可以改

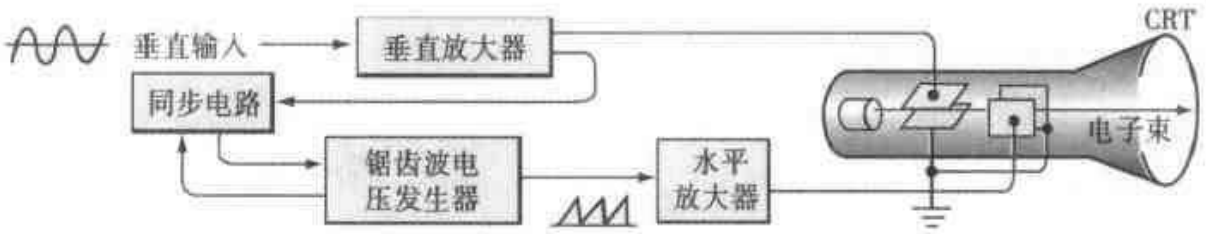


图 2　示波器的电路结构

变锯齿波的频率，使之与被测波形同步，如图 3 所示。自动完成该项工作的仪器称为**同步示波器**。

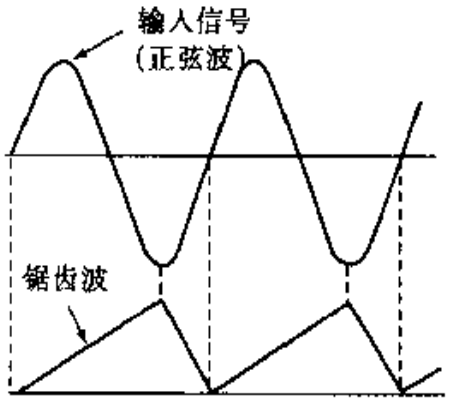
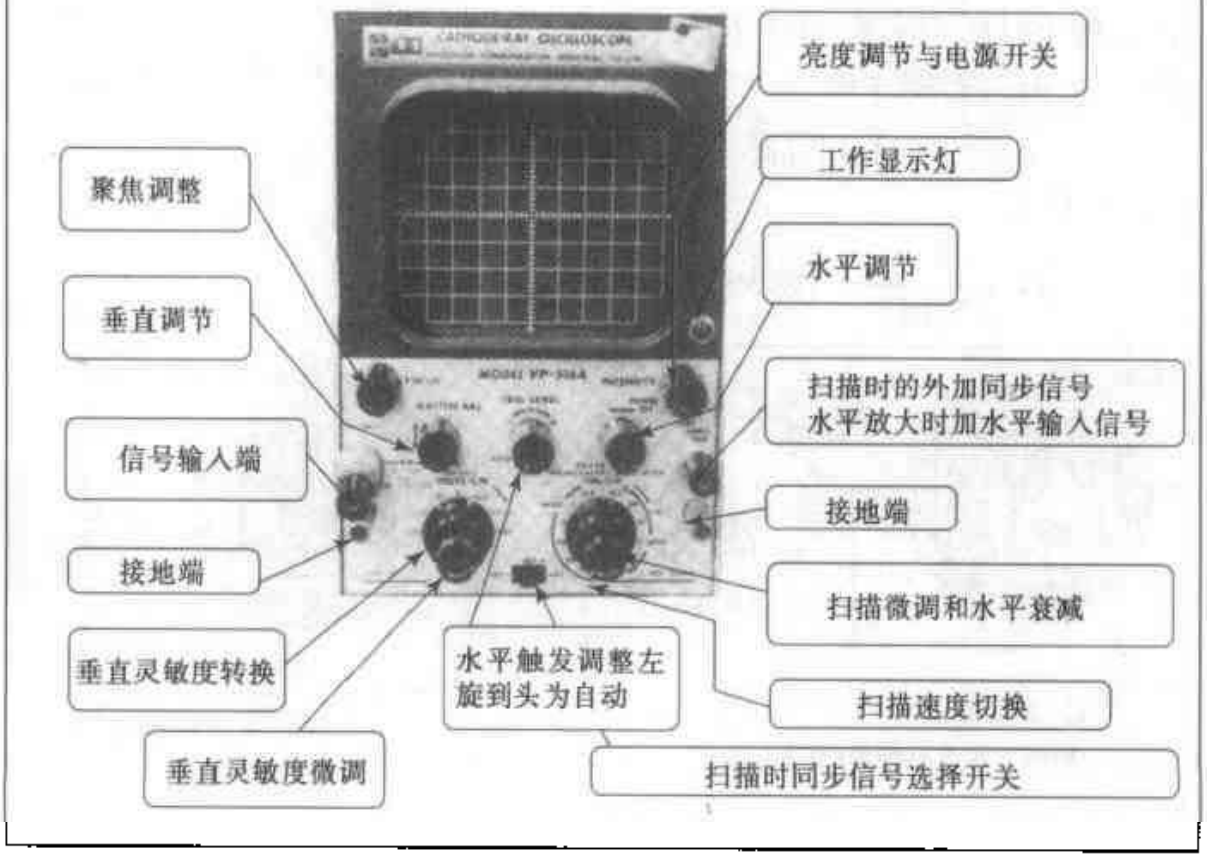


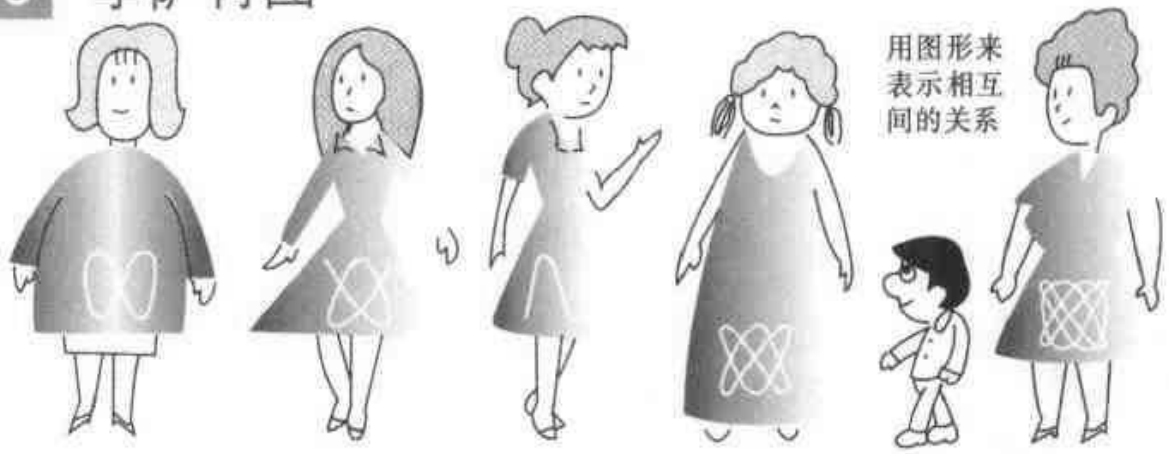
图 3　必须同时获得输入信号(正弦波)和扫描信号(锯齿波)

One Point

示波器的常用旋钮



8 李萨育图



用示波器测量频率

用示波器测量频率时，一般从图 1 所示波形求得一个周波的时间（**周期**），就可以得到频率 f：

$$f\,[\mathrm{Hz}] = \frac{1}{T[\mathrm{s}]}$$

图 1 中一个周波(即 1Hz)的长度为 8cm，由于时标（时间/cm）的指示值为 1μs/cm，所以周期 T 为

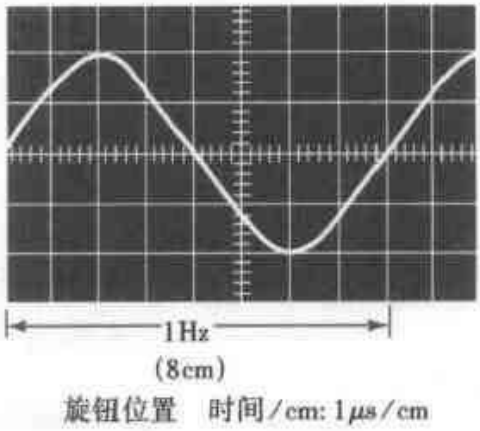


图 1　频率的测量

$$T = 8\ [\mathrm{cm}] \times 1\ [\mu\mathrm{s/cm}] = 8 \times 10^{-6}\ [\mathrm{s}]$$

所以频率为

$$f = \frac{1}{8 \times 10^{-6}} = 125 \times 10^{3}\ [\mathrm{Hz}]$$

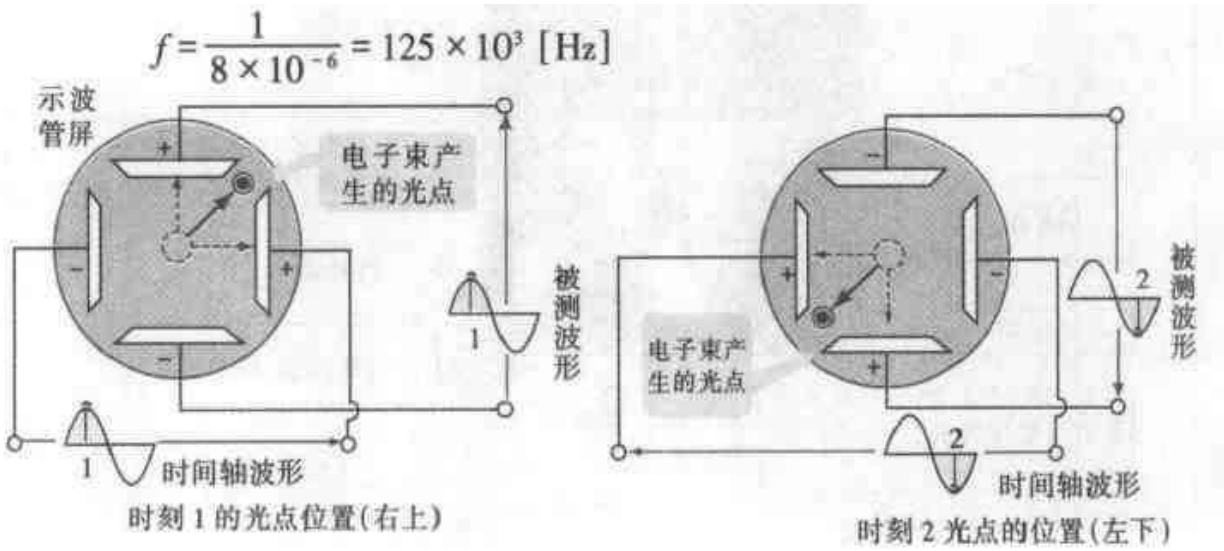


图 2　示波管上光点随时间的变化

用李萨育图测量频率

在频率较低（100kHz 以下）且波形为正弦波、方波等单一波形的情况下，可以利用李萨育图来测量频率。

在示波器的垂直轴上加上待测频率的电压，时间轴上加上标准频率的电压，示波屏上就会产生各种不同的图形，所谓李萨育图就是指这种图形。

如图 2 所示，电子束的光点表示不同瞬间两个不同方向电压的合成位置。图 3 所示为垂直轴和时间轴上所加的电压均为正弦波，电压的大小、频率均相等时的李萨育图。两个电压的相位差为 0°时，为一条直线。

图 4 表示相位差为 90°时的李萨育图，它形成一个圆。

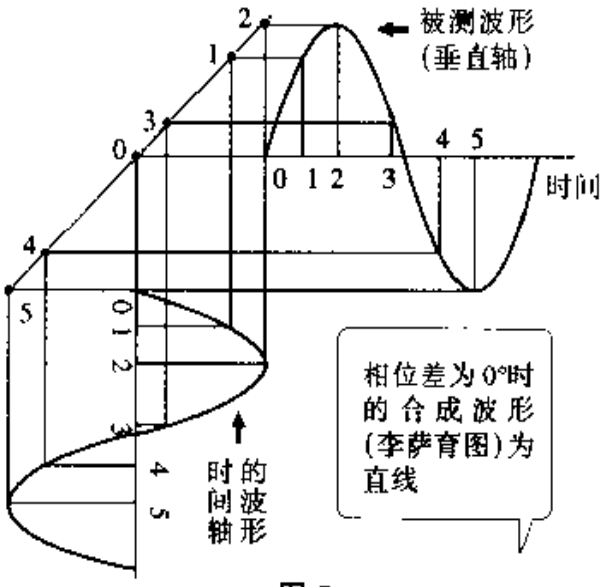


图 3

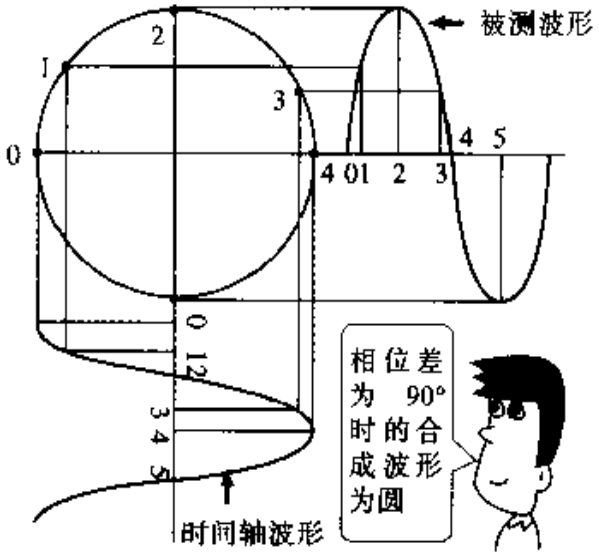


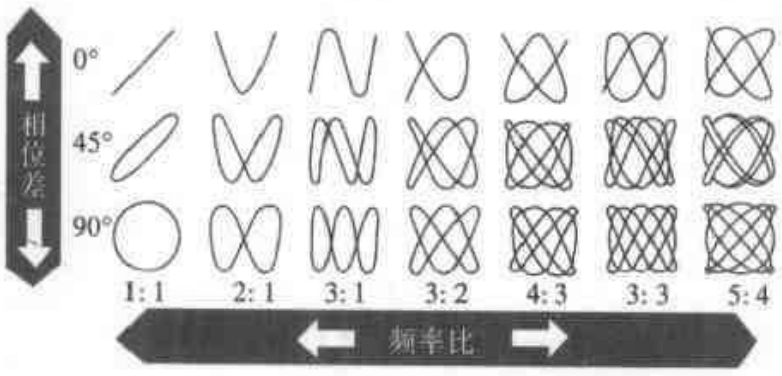
图 4

One Point

试画出李萨育图

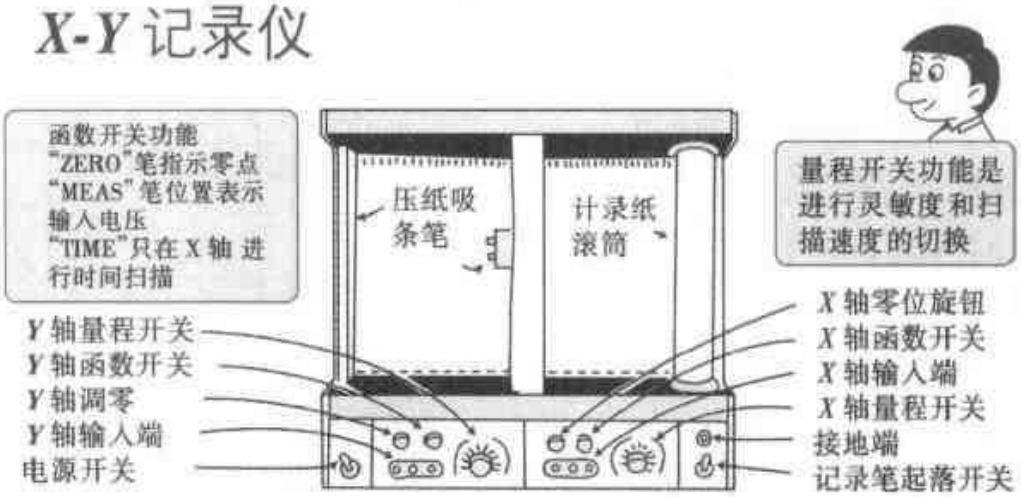
随频率比和相位差的不同，李萨育图会变化为各种不同的形状，如右图所示。

从横轴和纵轴的比例关系可以知道被测频率。



各种频率比的李萨育图

9 X-Y 记录仪



X-Y 记录仪的原理

普通的笔式记录仪是记录被测量随时间变化的情况，而 X-Y 记录仪由于输入两个电压，所以能在方格纸上自动记录某个变量 X 及其函数 Y($Y=f(x)$)的关系。

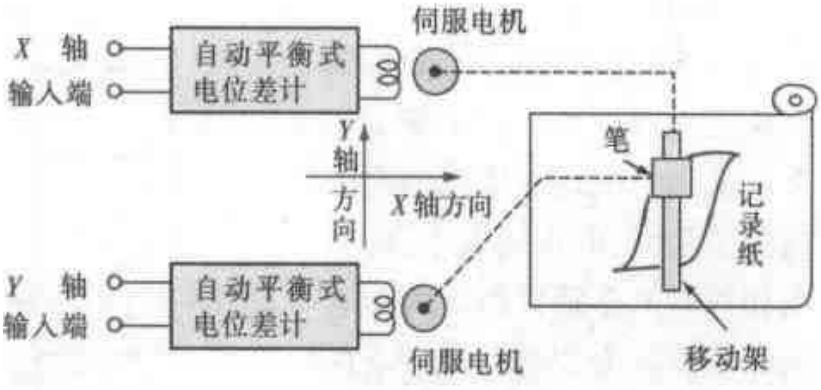


图 1　X-Y 记录仪的原理

例如，它可以记录磁性材料的 B-H 曲线或者是直流电动机的励磁电流与转速的关系曲线。

图 1 表示 X-Y 记录仪的原理。X 轴(横)和 Y 轴(纵)由各自独立的自动平衡电位差计组成，两者驱动同一支笔分别在 X 方向及 Y 方向上向平衡位置移动。

下面我们就来讨论自动平衡式电位差计的原理，这是 X-Y 记录仪的核心问题。

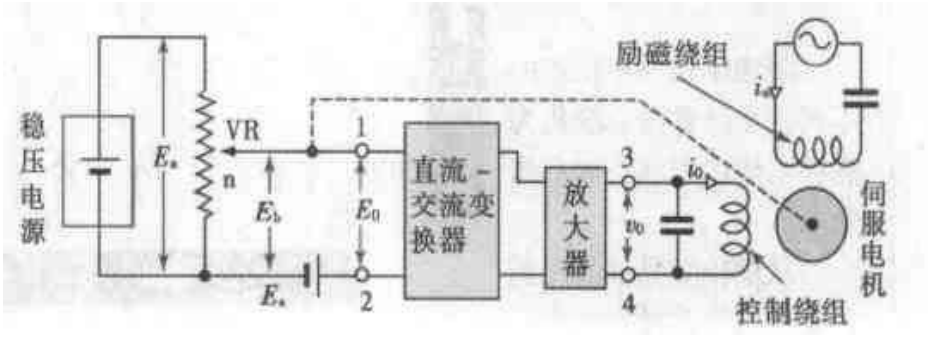


图 2　自动平衡式电位差计的原理

自动平衡式电位差计的原理

图 2 示出自动平衡式电位差计的原理。直流稳压电源使滑线电阻上流过固定电流，在电刷 n 和电源的负极之间产生电压 E_b。如果将未知电压 E_x 接入电路，在端子 1、2 之间就有 E_x 和 E_b 之差 E_0 产生。由于 E_0 为直流电压，所以再用直流 - 交流变流器（DC-AC 变换器）变成交流，进一步将其放大得到输出电压 v_o，v_o 加在伺服电机的控制绕组上产生电流 i_0。

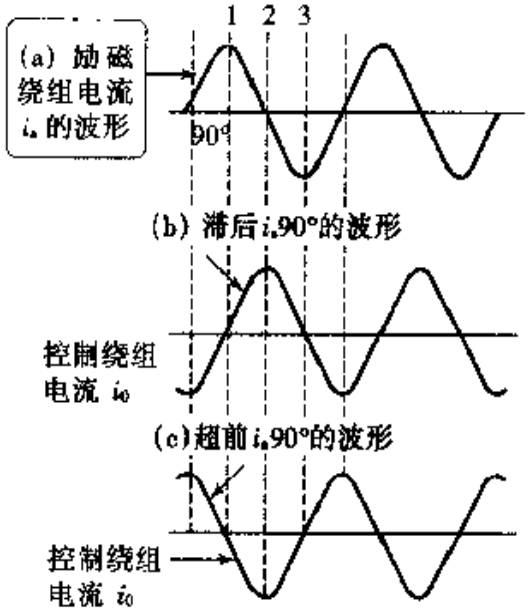


图 3 伺服电机绕组的电流

如图 3 所示，在 $E_b > E_x$ 或 $E_x > E_b$ 两种情况下，端子 3、4 之间所出现的电压的相位将相差 180°，i_e 相对于 i_0 将出现超前 90°或滞后 90°的情况。无论哪种情况，由 i_e 和 i_0 产生的磁通均有 90°的相位差，都会产生旋转磁场，伺服电机的转动（正转或者反转）带动滑线电阻上的电刷运动，直到 $E_0 = 0$ 的位置才停止。

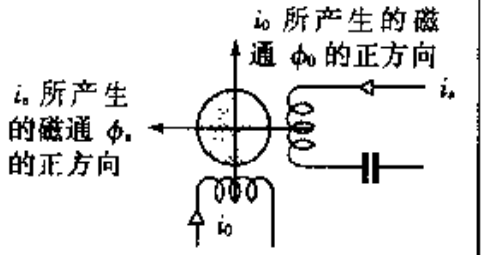
One Point

交流伺服电机的原理

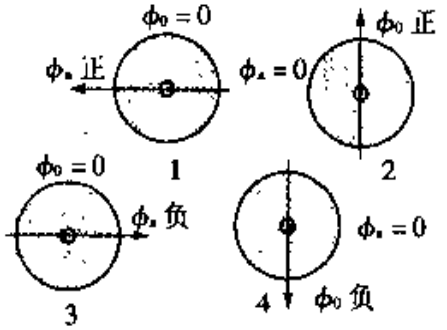
交流伺服电机是有两个绕组的感应电机。我们来看看图 3(a)、(b)中 i_0 滞后于 i_e 情况下旋转磁场是如何产生的。

现在假定 i_e 和 i_0 的磁通正方向如右上图所示，则图 3 曲线上的 1、2、3、4 各瞬间的合成磁通将按右下图所示的顺时针方向旋转。

由于感应电机的转子相对于磁场是转动的，所以转子也顺时针转动。如果 i_e 超前，则会变成反时针旋转，请读者自己用同样的方法加以分析。

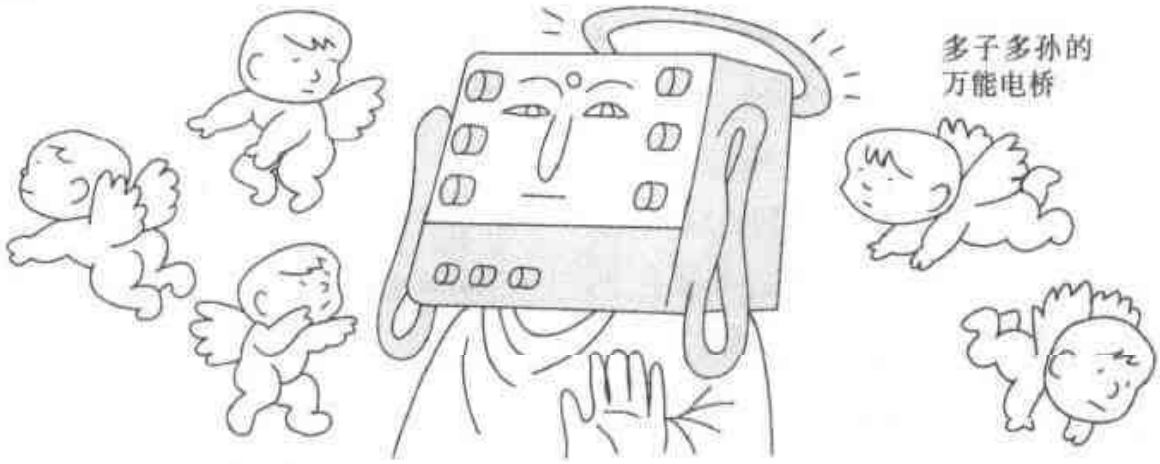


双绕组伺服电机的磁通正方向(假定)



i_0 滞后 i_e 情况下，时刻 1 ~ 4 的合成磁通方向

10 万用电桥



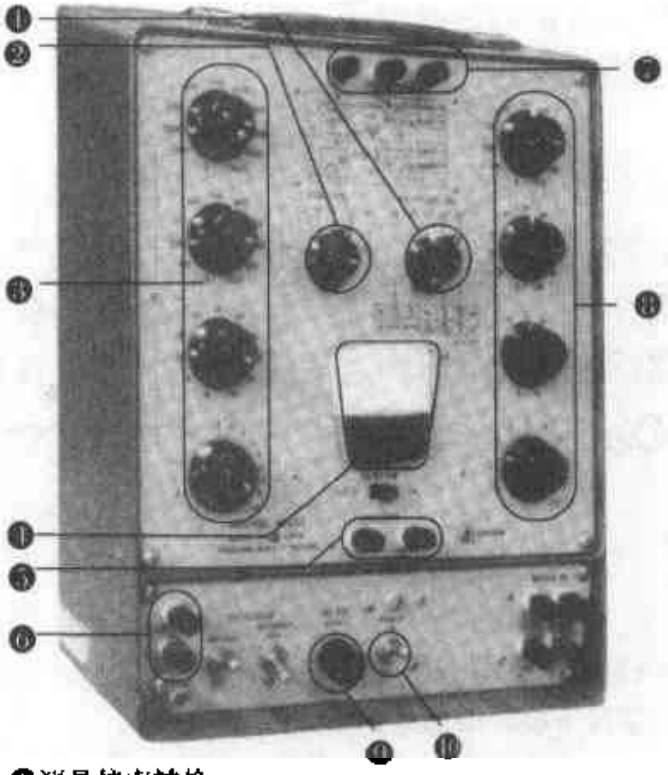
交流电桥的基本原理

在交流电路中不仅有电阻，自感、互感、电容器等均是电路的重要组成元件。

万用电桥是一种广泛用于测量这些元件的电桥，也常称为多用综合交流电桥(参照图 1)。

交流电桥的基本电路如图 2 所示，调整 4 个阻抗臂中的 3 个阻抗使 c 点和 d 点的电位相等，交流电桥即可达到平衡。

在电桥处于平衡状态(指示器 T 的端电压为零的状态，比如耳机声音消失等)下，4 个阻抗可满足如下关系：



❶测量倍率转换
❷测量电路转换
❸标准电阻 R_C 调节
❹电桥平衡指示器
❺测量端
❻外接振荡器接线端
❼内装标准电容器(1μF)接线端
❽ R_B 调节
❾振荡器的输出调节
❿电源开关

图 1 万能电桥测量 L、R、C 的操作部分(4255A, BV－Z－BC)

$$\left.\begin{aligned} Z_A I_1 &= Z_C I_2 \\ Z_B I_1 &= Z_x I_2 \end{aligned}\right\} \rightarrow \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{Z_C}{Z_x}$$

$$\therefore\ Z_x = \frac{Z_B}{Z_A} \cdot Z_C$$

式中 Z_x 为未知被测阻抗。

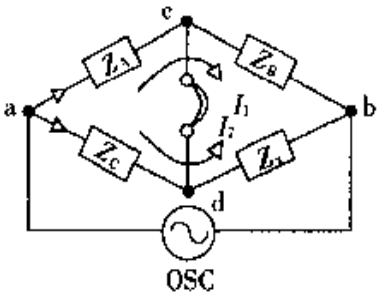


图 2　交流电桥的基本电路

用万用电桥测量 R、L、C

如前所述，图 2 是万用电桥的基本电路。图 1 所示测量操作面板图曾指出，信号源为内装 1000Hz 的振荡器，不过也可以利用外部提供的低频信号源。

（1）测量电阻时（测量电路切换开关调到 R），用图 3 所示电路使电桥平衡，被测电阻可用下式求得：

$$R_x = \frac{R_A \cdot R_B}{R_C}$$

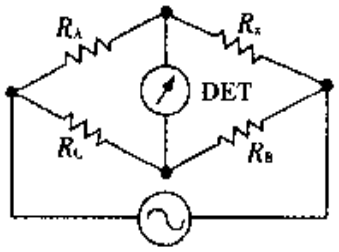


图 3　R 的测量
（DET 为检测器）

（2）测量电容器时（切换电路开关调到 C_1），电路变成图 4 的情形。从电桥平衡条件可以求得 R_x、C_x：

$$C_x = C_S \frac{R_B}{R_A} \quad R_x = \frac{R_A R_C}{R_B}$$

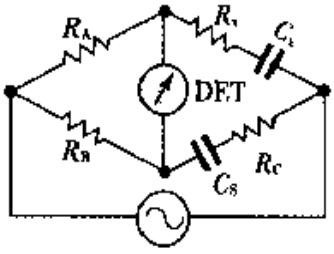


图 4　C 的测量

（3）测量线圈时（测量电路切换开关调到 L_2），这时电路如图 5 所示，可以得到如下关系：

$$L_x = C_S \cdot R_A \cdot R_B \quad R_x = \frac{R_A R_B}{R_C}$$

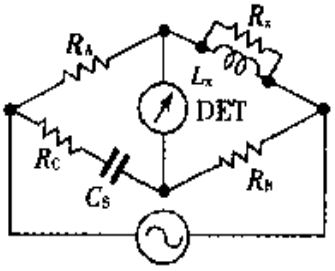


图 5　L 的测量

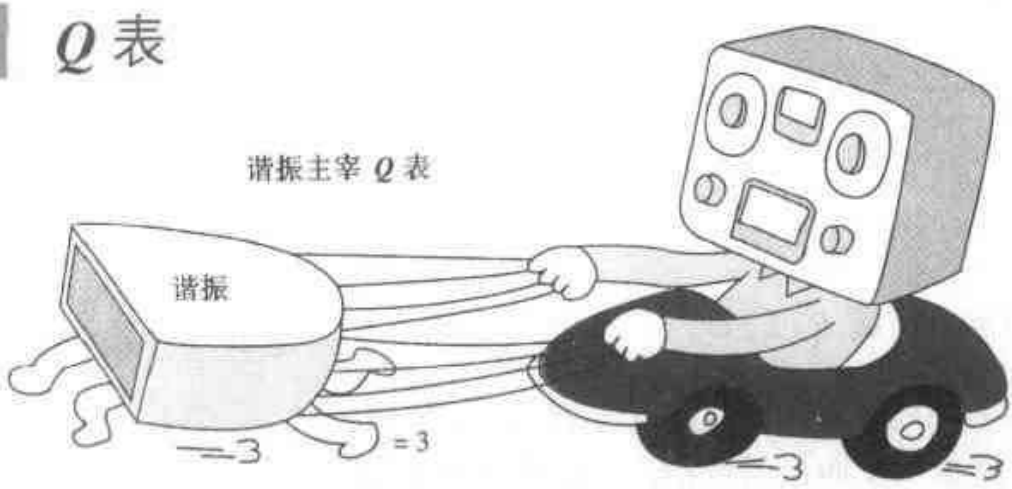
式中 C_s 为标准电容。

One Point

直流电桥与交流电桥的比较

为什么交流电桥的种类比直流电桥的种类多得多呢？与测量直流电阻用的惠斯登电桥相比，交流电桥的种类不胜枚举，有测量电解液电阻用的考劳希电桥，测量电容器用的西林电桥或者电容电桥等。这是因为根据交流电桥测量对象的种类、测量精度、实现的难易程度等，需要考虑各种不同的电路方式才能满足使用要求。

11 Q表



Q值

Q值是表示线圈质量优劣的指标。也就是说线圈不仅有电感，还有电阻。因而 ωL 比 r 越大（$\omega L \gg r$），电感线圈的质量就越好。因而把线圈的 Q 值（即 $\omega L/r$）作为衡量线圈品质的标准。

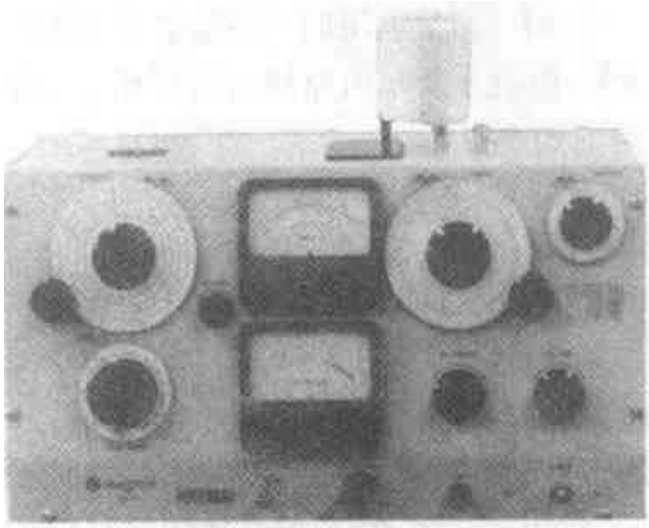


图1　Q表

Q表的原理

电容器的 Q 值用 $1/\omega Cr$ 表示。图1示出 Q 表的外形，利用 L 和 C 的谐振现象，可以直接读出线圈的 Q 值。现在来分析 Q 表测量线圈 Q 值的方法。

在图2所示电路的端子 t_1 和 t_2 之间连接被测线圈。预置耦合电阻 $r_0(=0.04\Omega)$ 为极小的数值，由于调谐电容器 C 为损耗极小的空气电容器，故谐振电路中的损耗可以认为仅是线圈的电阻 R 产生的。

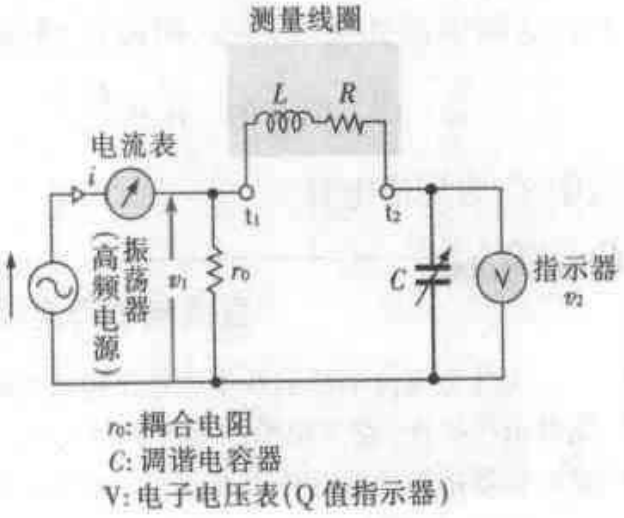
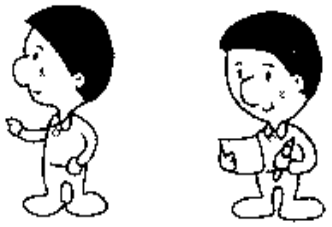


图2　Q表的原理图

调节调谐电容器 C 使它与被测线圈谐振。设谐振频率为 f_0，则可满足 $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$，此时流过电路的电流 I_0 即为 $I_0 = v_1/R$（其中 $\omega_0 = 1/2\pi f_0$）。这里 v_1 是振荡器加在 r_0 两端的固定电压。那么谐振电容器 C 的端电压 v_2 即为

$$v_2 = \frac{v_1}{R} \cdot \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{v_1}{R} \cdot \omega_0 L$$



如从上式求 v_2/v_1，即可得到

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{\omega_0 C_R} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

其值就表示 Q 值。所以如果设 v_1 为定值，将电压表Ⓥ的指示值预先标刻成它与 v_1 的比值，那么被测线圈的 Q 值就可直接读取。这种情况下，电压表Ⓥ应选用高输入阻抗的电子电压表。

问题　在图中的 Q 表电路中，设 $v_1 = 10\text{mV}$，电压表Ⓥ指示为 2.5V，被测线圈的 Q 值为多少？

解　$Q = v_2/v_1 = 2.5/10 \times 10^{-3} = 250$

One Point

用 Q 表测量 L 和 C

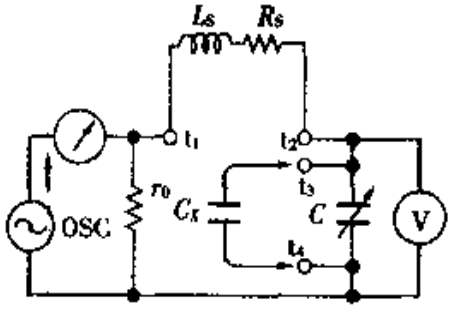
在右下图所示 Q 表的电路中，设谐振时电容器 C 的值为 C_0[F]，频率为 f_0[Hz]，利用下式可以求出线圈的电感 L_x：

$$\omega_0 L_x = \frac{1}{\omega_0 C_0} \quad \therefore \quad L_x = \frac{1}{\omega_0^2 C_0} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_0}$$

将标准线圈接到图中 Q 表的端子 t_1 和 t_2，令谐振时的 C 值为 C_1[F]。然后在 t_3 和 t_4 端接上电容为 C_x 的电容器，再次调谐，得到此时的 C 值为 C_2[F]。则可用下式求得 C_x：

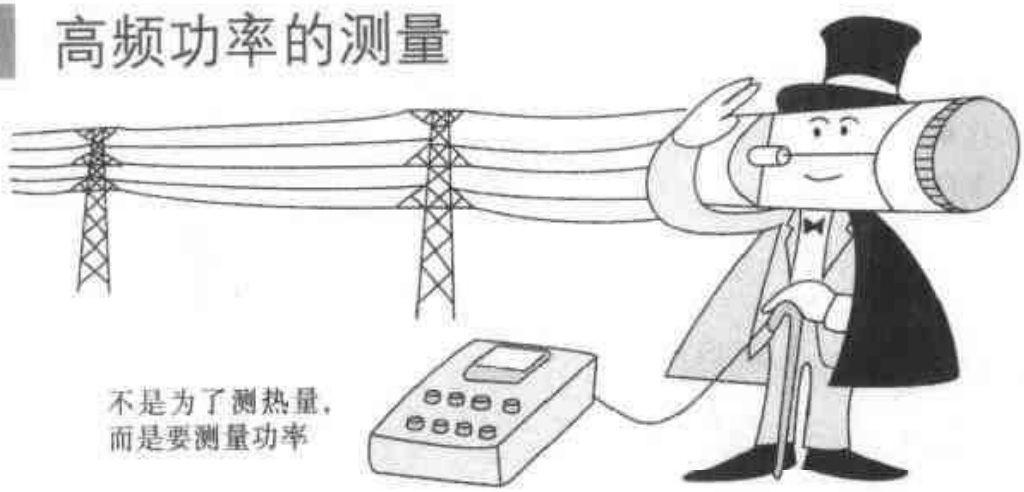
$$\omega L_S = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{\omega(C_2 + C_x)}$$

$$\therefore \quad C_x = C_1 - C_2$$



用 Q 表测量电容 C_x

12 高频功率的测量



用热转换测量高频功率

电功率是表示电能做功能力大小的重要参数。在高频范围内，电可以完成诸如传输声音和图像或者使物质分子运动而产生热量等各种工作。

作为电的基本量有电压、电流、电阻等，而功率则是由这些基本量导出的单位。在低频范围内，根据电压和电阻（或者阻抗）可以很容易求出功率，例如功率 P 可表示为

$$P=\frac{E^2}{Z}\cos\theta$$

式中 E 为电压，Z 为阻抗，$\cos\theta$ 为功率因数。

但是在高频情况下，阻抗并不容易确定，所以测量高频功率就必须采用与低频时不同的测量方法。

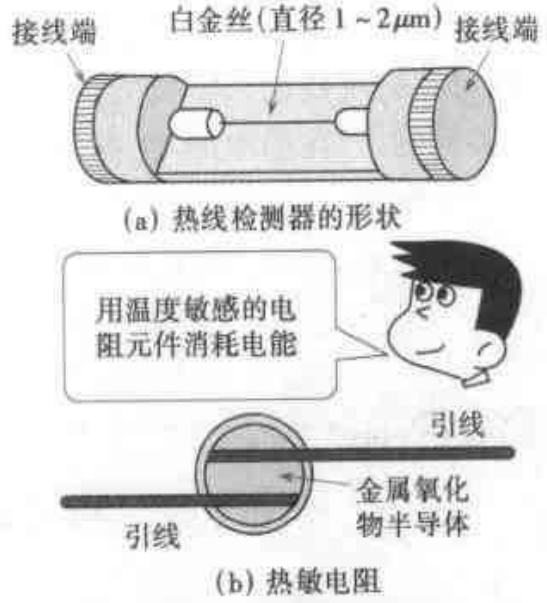


图 1　测热元件

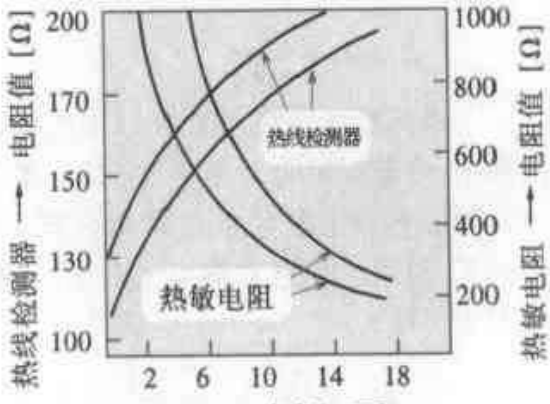


图 2　测热元件的特性

用辐射测热法测量高频功率

利用将高频电能转换成热量的元件进行功率检测的仪器称为**辐射测热仪**。测热元件有热敏电阻和热线检测器等(图 1,图 2)。

进行高频功率测量时,需连接图 3 所示的电桥。在该电路中 R_1、R_2、R_3 是固定电阻,如预设定 $R_1 = R_2$,则当测热元件的电阻 R_0 和 R_3 相等时,该电桥电路即达到平衡(检流计无电流通过)。

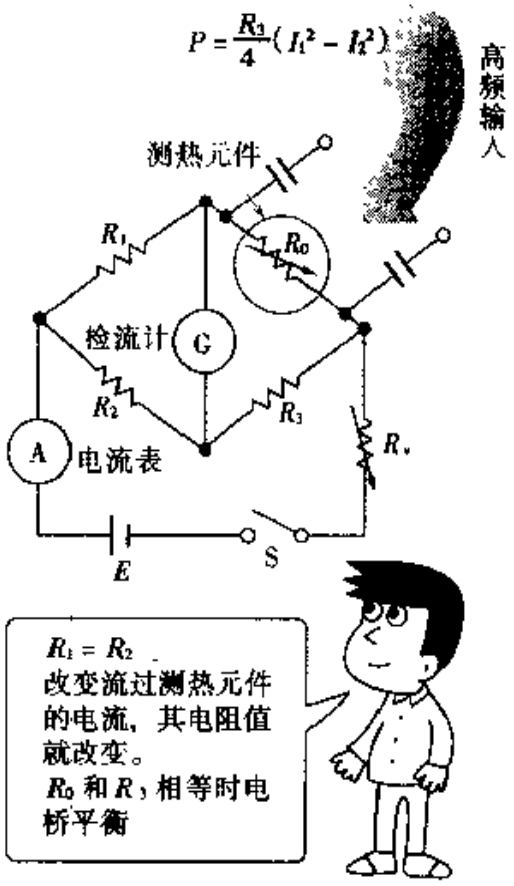


图 3　测热电桥的原理

这时流过 R_1、R_2 的电流相等,可知它们均为电流表Ⓐ读数的一半。首先不加高频电能,调节电阻 R_v 使电桥平衡。设此时Ⓐ的读数为 I_1,则被测元件消耗的功率为 $(I_1/2)^2 R_0$。然后加上高频电能,同样调节 R_v 使电桥达到平衡。设此时Ⓐ的读数为 I_2,测热元件消耗的功率变为 $(I_2/2)^2 R_0$。二者之差即为高频功率。高频功率 P 可用下式求得:

$$P = \frac{R_0}{4}(I_1^2 - I_2^2) = \frac{R_3}{4}(I_1^2 - I_2^2)$$

R_0 是随温度变化的元件,在特定的温度下其值等于 R_3。这个特定温度是由改变 R_v 来实现的。

One Point

测热电桥是怎样平衡的?

构成电桥的四臂电阻 R_1、R_2、R_3、R_0 全部都是不变的,只改变 R_v 就可使电桥平衡,这似乎不可思议。但实际上测热元件的电阻 R_0 是因温度而改变的(因而也随电流而改变),于是调节 R_v 就可以将 R_0 调节到等于 R_3。

13 传感器与温度测量



感知元件——传感器

利用电子测量技术测量温度、速度、压力等电学量之外的物理量或化学量的方法称为**应用测量**。

将物理量、化学量转换成电学量进行测量的应用测量技术具有以下优点。①由于电学量容易放大，且放大倍率高，故可以进行高灵敏度测量。②可以进行远距离测量。③与机械现象的缓慢变化相比，电子测量的延迟是微不足道的，也就是说它可以进行快速测量。④可以进行无损检测。

将非电量变换成电学量的变换器或元件称为传感器。可以把传感器看作是一种代替人定量感知被测物理量或化学量的装置(图 1)。

各种主要传感器的分类如图 2 所示。



图 1　传感器的作用

物理量	温度	速度	压力	位　移	气体、烟	湿度
传感器	测温电阻 感温铁氧体 热电偶 热敏电阻	光电导元件 光电二极管 光电三极管	半导体应变片 布尔登管	镍合金电阻丝 电感变换器 电容变换器	SnO烧结元件 放射性同位素	尼龙薄膜

图 2　测量用的主要传感器

测量温度的方法

测量温度时，传感器直接与物体接触完成测量的称**接触式温度传感**

器，远离被测物体以光的形式感知的称为**非接触式温度传感器**。接触式温度传感器主要有热电偶、测温电阻以及半导体热敏电阻。灯泡的灯丝等为非接触式温度传感器。

(1)热电偶温度计　如图3所示，将白金－铂铑或镍铬－镍铝等两种金属做成“结”，使之形成热端和冷端（产生温差），结上就会产生热电势。由于热电势与温差成比例，用毫伏表测量热电势就可以知道温度。

(2)电阻温度计　受温度变化的影响电阻器的电阻值会改变。利用电桥电路测量因温度改变而导致电阻器电阻值变化的设备是电阻温度计（图4）。

热敏电阻是一种半导体测温电阻。它具有大的负温度系数，但也有具有正温度系数的元件。使用这种元件可以进行高灵敏度的温度测量。

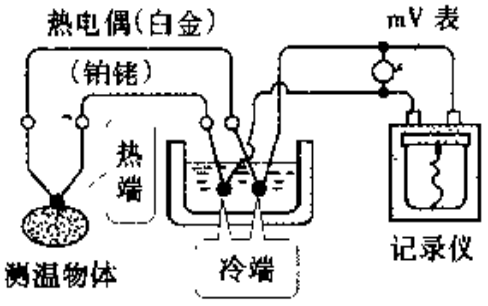
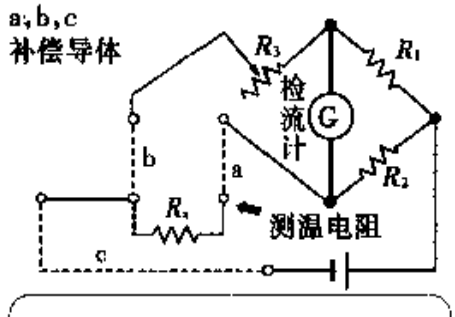


图3　热电温度计的电路



在测温电阻远离电桥的情况下，引线a，b，c的电阻受环境温度的影响发生变化，会产生误差。为防止误差，引线a，b不要接在同一桥臂上，将b与R_3串联，a与R_t串联，则可消除其影响。

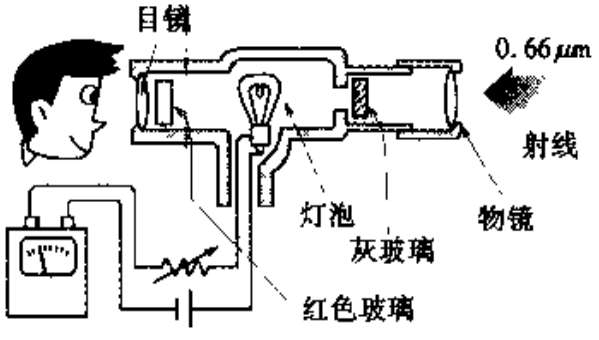
图4　3线式电桥电路

One Point

1000℃以上的高温测量

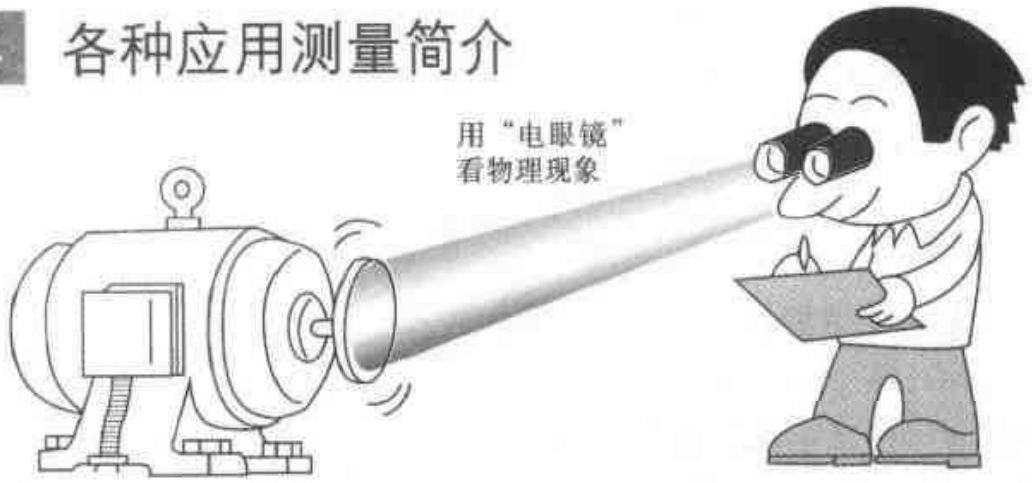
通常电阻温度计可以测到600℃，热电偶温度计可以测到600～1000℃，测量高于1000℃的温度就需使用光学高温计、色温度计等。

光学高温计是测量红光波长(0.66μm)的射线。如右图所示，将待测物体和灯丝均收入视野，如果改变电流使二者色度一致时，就看不到灯丝了。从此时的电流值就可以知道温度值。



光学高温计

14 各种应用测量简介



转速测量

测量电动机等设备转速的仪器有发电机式和光电式转速表。图 1 示出发电机式转速表的原理，发电机绕组切割磁力线的速度越快，输出电压也就越高。也就是说，测得它的电压就能知道转速。但是由于发电机式转速表需从转轴获得转矩，所以对于超高速旋转的测量难度较大。

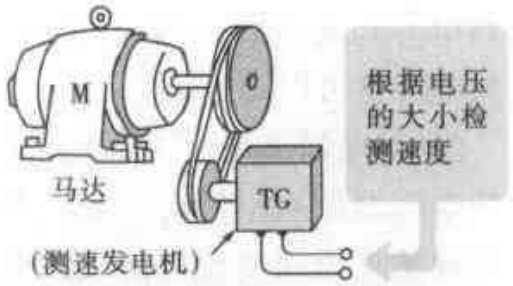


图 1　发电机式转速表

上述情况下可使用图 2 所示的光电式转速表。测量时在转轴上贴上反射标志，用光电三极管接收来自光源的反射光。接收的反射光是反射光中特别强的部分，且是以光脉冲的形式接收的。进一步将信号整形为电脉冲（方波），从显示方波平均值的直流电压表的读数就可以知道转速。

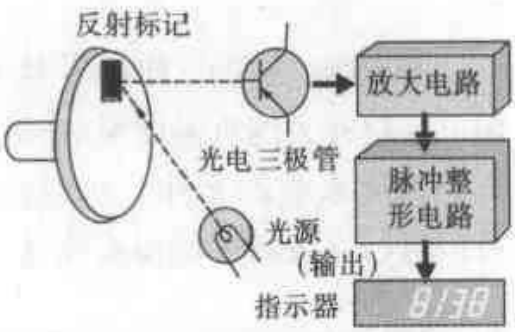


图 2　光电式转速表的原理

由于光电式转速表可进行非接触测量，所以测量范围可扩大到 200～20000[r/min]。另外，将其转换为脉冲数，还可以进行数字测量。

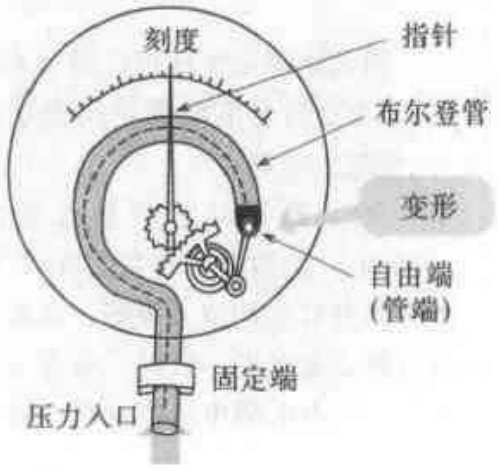


图 3　布尔登管压力表

压力测量

作为压力测量的方法有长期以来广泛使用的布尔登管压力计，它是利用图 3 所示的弹性体的变形实现的。如果对布尔登管的固定端加压，自由端就会产生与压力相对应的变形，管端变形经机械放大带动指针的偏转。

这种压力计在测量不断变动的压力或过高的压力时，有一定限度。因而通常是将形变（或位移）转变成电信号，检测位移通过电感变换器和电容变换器来实现。如图 4 所示，位移是作为电感或电容的变化来获取的。

图 5 是利用电感变换测量位移的例子。由于 Q 产生的压力使铁片 P 上下运动，所以 U_1 和 U_2 的电感就不断变化，此时流过的不平衡电流可用电流表 M 来测量。

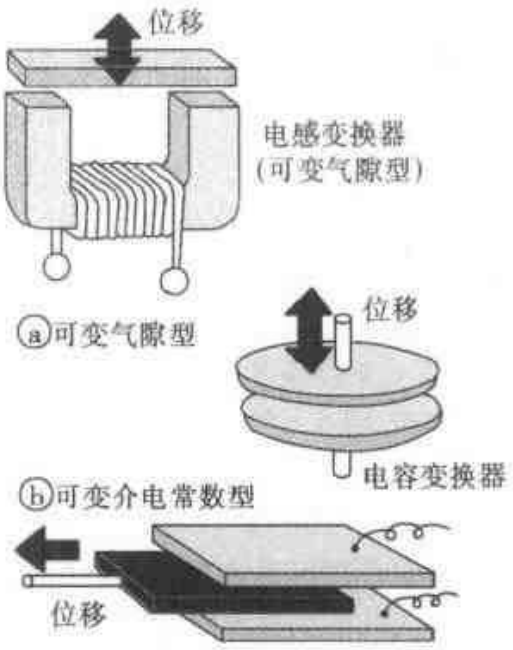


图 4　电感应变换与电容变换

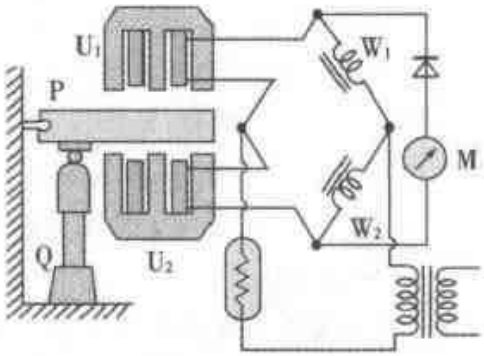
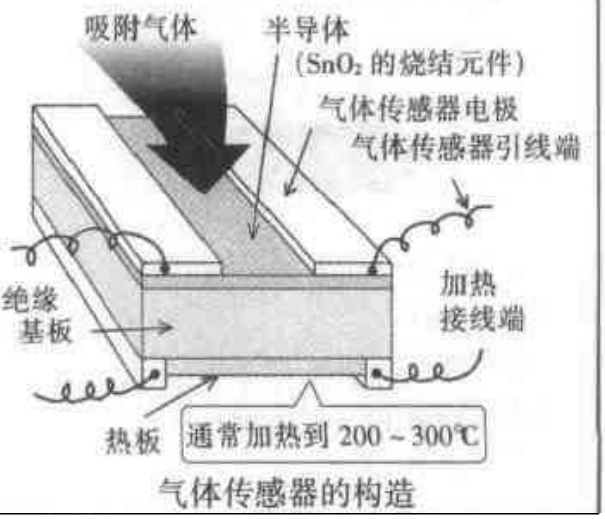


图 5　利用电感变换测量位移

One Point

可分辨气体的传感器

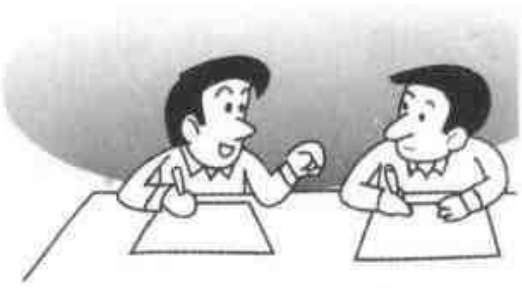
判别气体种类的工作并非易事，不过也有如右图所示的气体传感器。在绝缘基板上装有 SnO_2、ZnO 的烧结体，通常将该半导体预热到 200～300℃。如果表面吸附气体，半导体的电阻就会改变。所以，如果将气体传感器预先接入电桥电路，就能检测到是否存在这种气体。



气体传感器的构造



本章小结



1. 牢记测量值和真实值之间产生误差的原因(p. 126)。

 问　用 0.5 级、最大刻度 50mA 的电流表测量电流，设指针指示 30mA，其真实值的范围为多少？[mA](p. 127)？

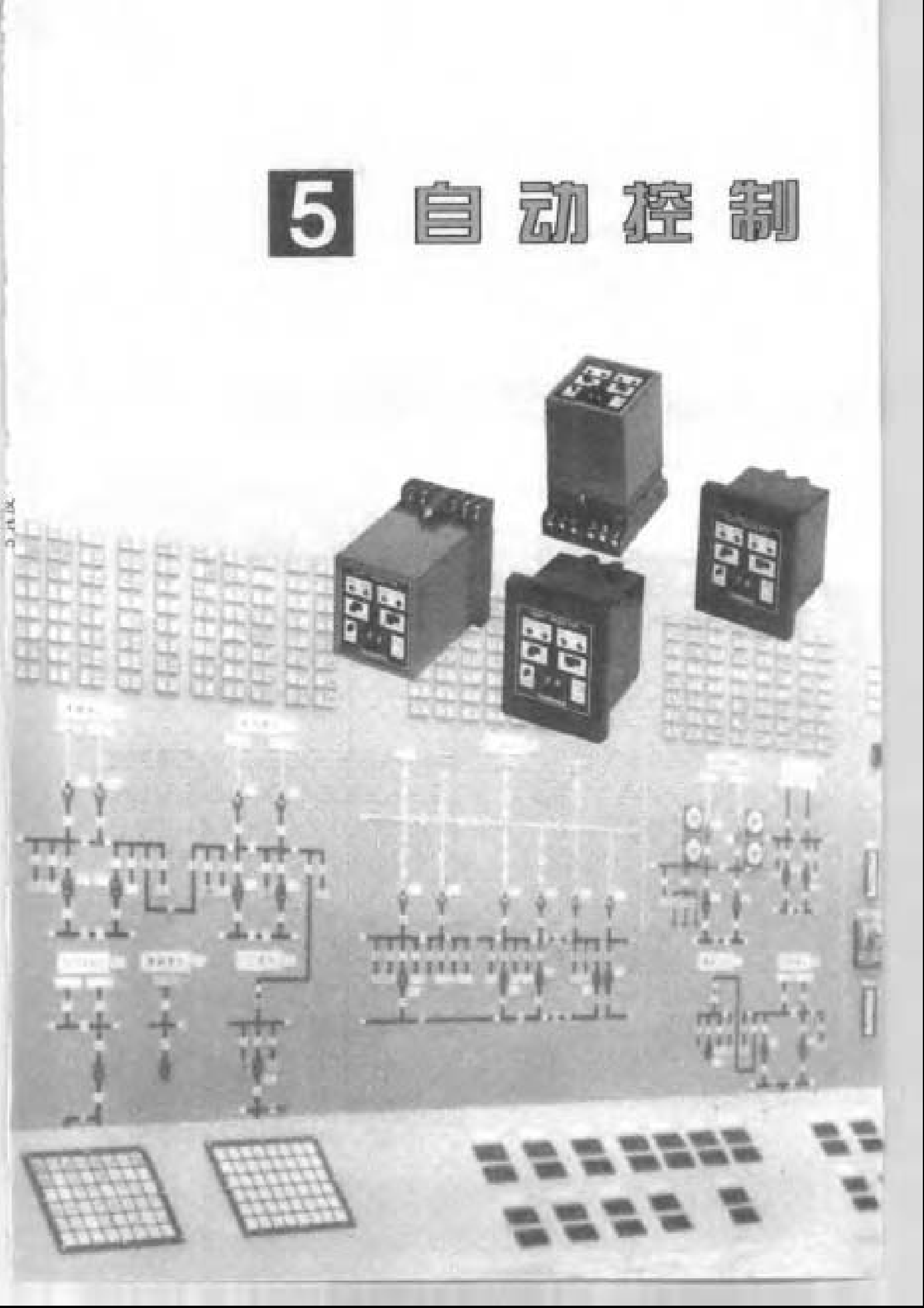
 答　29.75 ~ 30.25mA

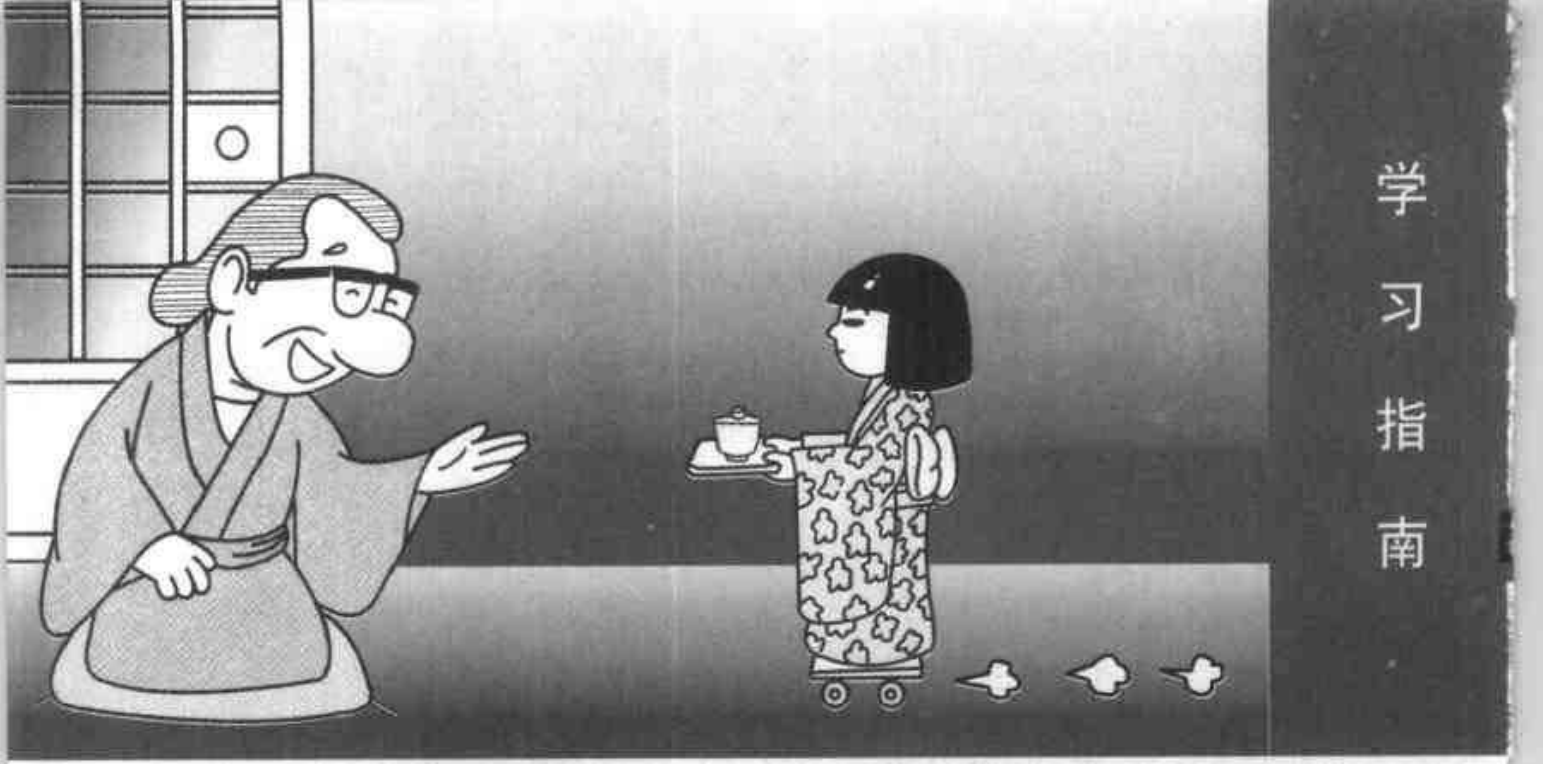
2. 构成测量仪器的三要素是什么(p. 128)？
3. 用万用表的输出端能测量什么 (p. 131)？表头的保护电路中的二极管有什么作用(p. 131)？
4. 什么是集肤效应(p. 132)？列举高频测量方法的实例，并加以说明(p. 133)。
5. 牢记电子电压表的工作原理(p. 135)。
6. 牢记计数式频率计的原理(p. 137)。
7. 示波器中所谓同步是指什么？为什么同步是必要的(p. 139)？
8. 李萨育图有什么用途(p. 141)？
9. $X-Y$ 记录仪是用于什么目的的测量仪器 (p. 142)？请说明自动平衡式电位差计的原理(p. 143)？
10. 万用电桥的功能有哪些(p. 144)？
11. 为什么用 Q 表能测量 L、C？说明其原理(p. 146)？
12. 辐射测热仪是测量什么的仪器(p. 149)？
13. 温度传感器有哪些种类(p. 150 ~ p. 151)？
14. 说明布尔登管的工作原理(p. 152)。

重要词汇

表盘刻度(scale of instrument)	万用电桥(universal bridge)
误差(error)	频率测量(frequency measurement)
李萨育图(Lissajous' figure)	直流放大器(DC amplifier)
动圈式(moving coil type)	电位差计(potentiometer)
电子电压表(electronic voltmeter)	辐射测热法(bolometer method)

5 自动控制





学习指南

自动控制（automatic control），指的是某种有目的的行为，是机器在无人操纵的情况下能够按照人所指定的目标自动地启动、运转和停止的一种功能。

例如，空调机的功能就是当室温超过25℃时能自动打开电源进行制冷，而当温度下降到25℃以下时能自动关断电源。

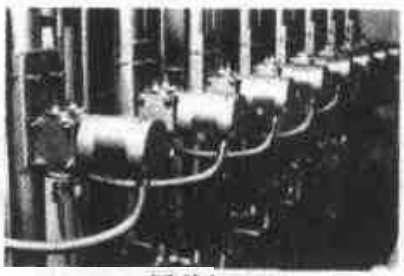
在自动控制中，被控制的东西称为**控制对象**，代表要达到目的的参数称为**控制量**。上面的例子中，空调机就是控制对象，室温就是控制量。

学习自动控制技术，最重要的是要掌握自动控制的总体思路和原理，并能把学到的理论加以活用。

自动控制按结构可以分为**顺序控制**（sequence control）和**反馈控制**（feedback control）两类。本章中，首先学习它们的基本思路和原理；然后学习实际自动控制当中常用的代表性机器（通常称为自动控制仪表），了解它们的构造和特性；最后还要学习二到三个应用实例，以便能够活用所学到的自动控制技术。



自动控制与本编 1～4 章所学过的电子线路和电子测量技术关系密切。自动控制装置是由电子线路组成的，其中还应用着各种传感器。最近，计算机也被大量用于各种自动控制装置当中。



压差发送器



本章要学习的内容

顺序控制和反馈控制及其实例。

反馈控制的基础理论及压力控制、流量控制、液位控制、机电一体化等基本知识。

传递函数的计算、一阶滞后单元、增益和相位的波特图及矢量轨迹、框图与传递函数的等价变换等。



过程控制的特点及检测、变换、放大、调节、记录指示、操作的机理。

电磁继电器互锁(interlock)电路的构成和顺序控制的检测装置结构等。



1 电磁继电器



按钮开关与限位开关

开关是最基本的操作器具，它种类繁多。其中，**按钮开关**是使用得最多的一种。**限位开**关在以机械自动化为目的的顺序控制中是关键器件，广泛用于机械位置的检测，例如用于检测机械动作的终点位置或者某个设定位置等。

电磁继电器与热动过电流继电器

在控制器具中电磁继电器是主角，其动作原理是利用电磁铁的作用力迫使触点改变状态。图 1(a)所示是动作前的状态：触点 a 开、触点 b 闭。一般常用触点 a 表示操作前处于常开状态的触点。图 1(b) 所示是线圈受电流激励，铁芯被磁化，触头被吸引，断电器动作后的情形。这时，常开触点变为闭合，常闭触点成为释放状态。

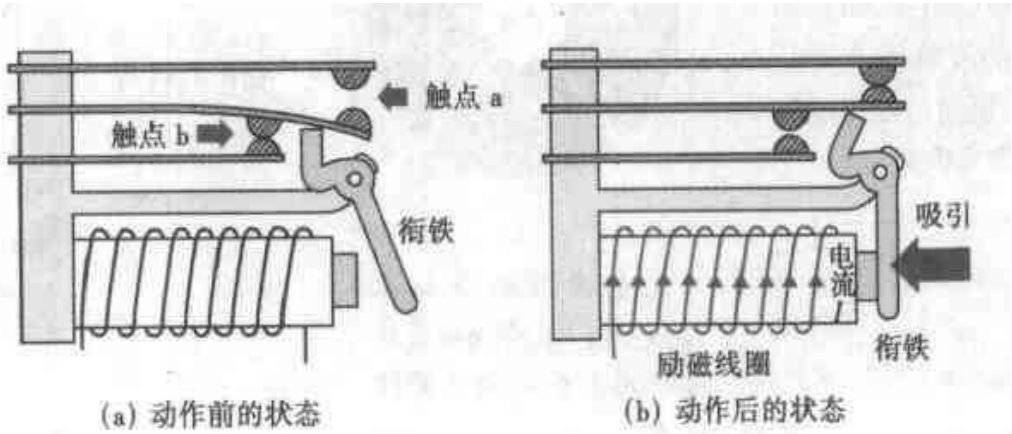
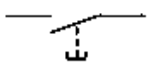
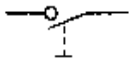
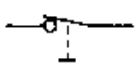


图 1 继电器的动作

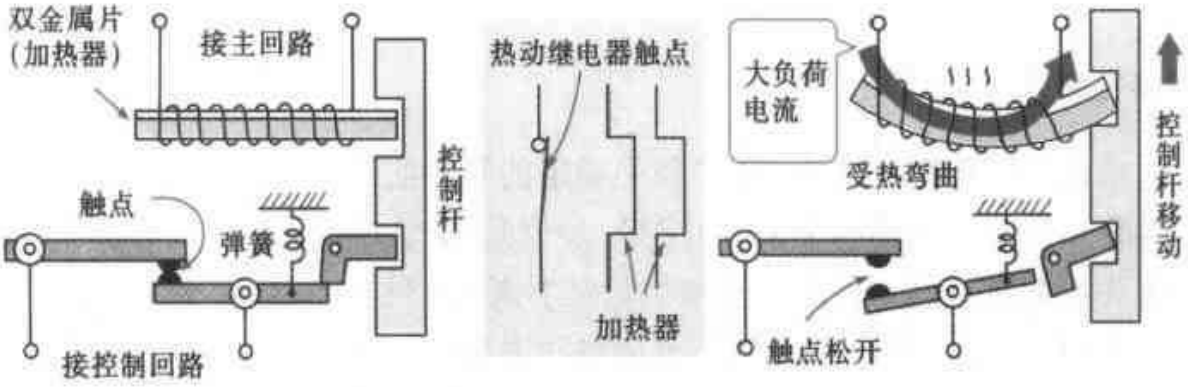
也就是说，继电器有动作发生时变为“通”的触点 a 和动作发生时变为“断”的触点 b 两种触点。

表 1 中给出了触点的功能和符号。

表 1　触点的功能和符号

触点的种类	功能	恢复型	保持型
触点 a	操作后通，操作前断		
触点 b	操作后断，操作前通		

热动过电流继电器又称为**热敏继电器**，其结构如图 2 所示。电流所产生的热加给双金属片，双金属片弯曲，从而使触点产生开、闭动作。



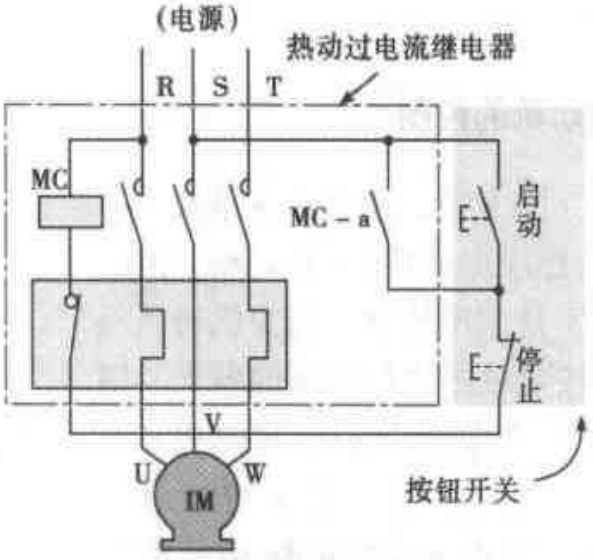
(a) 热动过电流继电器的结构和符号　　(b) 过流动作

图 2　热动过电流继电器的结构和动作

One Point

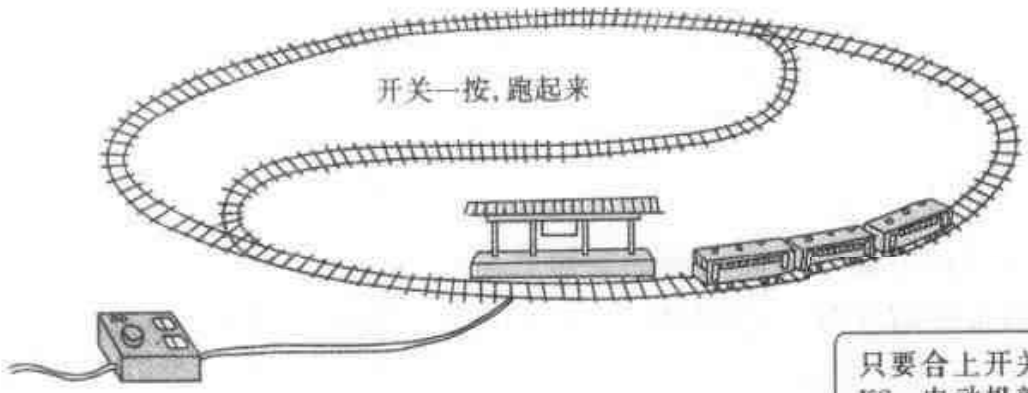
防止烧损的继电器

电磁开关，是一种由电磁接触器（其动作原理与电磁继电器相同）和热动过电流继电器组装在一起而构成的器件。如右图所示，当要启动感应电动机时，先按下启动按钮开关，于是线圈 MC 被励磁、触点闭合、电动机启动。这时，即使把手从启动按钮上移开，MC-a 仍然是闭合的。因而励磁状态不变，电动机继续旋转。如果电动机过负荷，热动过电流继电器就起作用，把回路切断。



电磁开闭器的原理和动作
(点划线框内是热动过流继电器)

2 顺序控制的原理



顺序控制

所谓顺序控制，就是“按照预先确定的顺序使控制动作一步一步地进行下去”的控制。也就是说，让机器事先把要进行的动作次序正确地记忆下来，人只要按一下启动按钮，剩下的事机器就会自动去完成。顺序控制的特点就是它具有能记忆动作顺序和判断功能的装置。

人具有记忆和判断能力是当然的事，而机器是怎样按顺序判断和记忆的呢？下面我们就以电动机运转为例来做一番探讨。

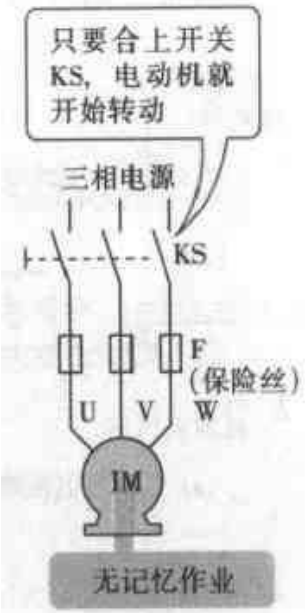


图 1

电动机的控制

图 1 中，闸刀开关 KS 一闭合，感应电动机 IM 就转动。但这并不是顺序控制，因为机器里没有按照顺序进行判断的单元。图 2 中，单靠闭合 KC，电动机是不会转动的，还得按下按钮开关 PBS，让电流流过线圈 MC，靠电磁铁作用使 MC 主触点闭合，才能使电动机转动。这种由 MC 来

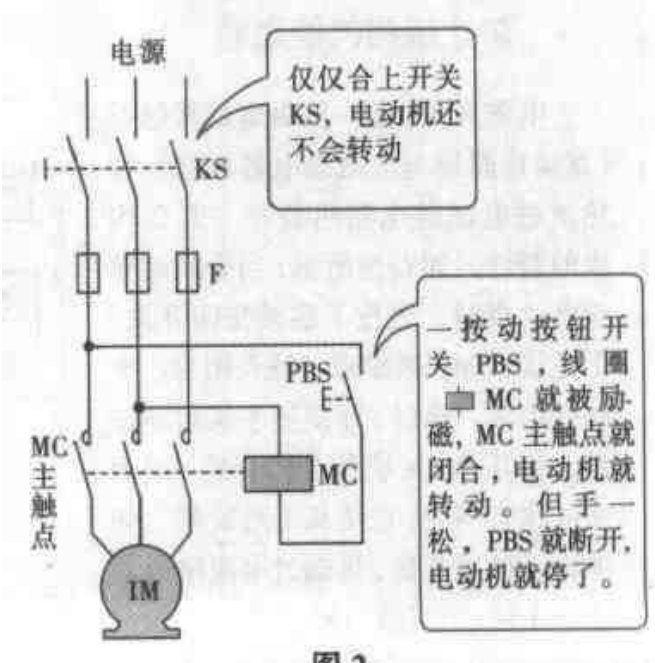


图 2



执行触点开闭的装置称为**电磁开关**(或称作电磁继电器)。利用电磁开关,我们就能够通过控制流过线圈的小电流来控制电流容量大的电动机。

然而,图 2 所示电路中,一旦把手从按钮开关 PBS 上松开,线圈 MC 中就没有了电流,主触点就断开,电动机也就停止了。可见它是不实用的。而在图 3 中,电磁开关还有另外一个触点(辅助触点),MC 中有电流流过时,主触点和辅助触点将同时动作。由于 MC-a 的闭合,即使 PBS 断开,回路中仍然有电流流过,电动机仍会继续转动下去。

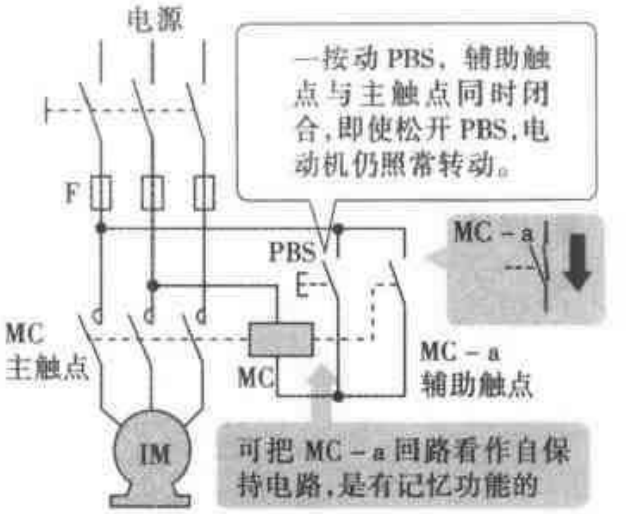


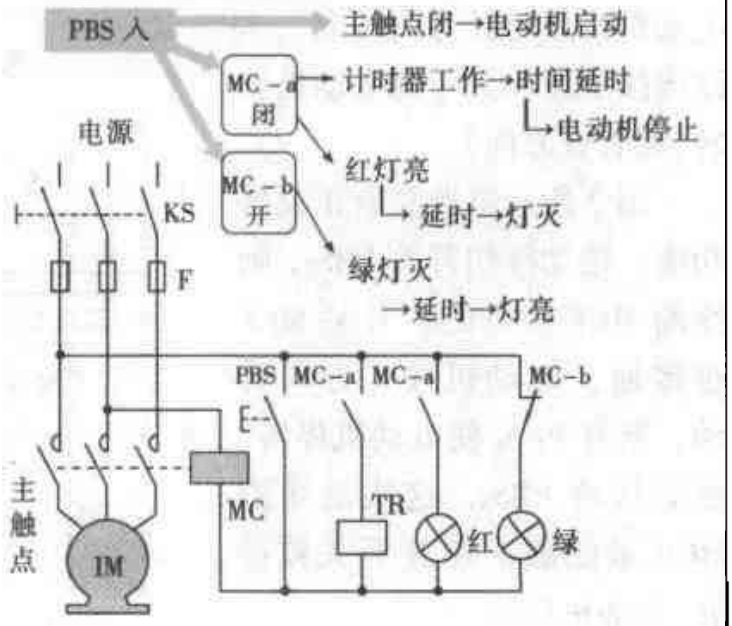
图 3

我们再来回顾一下上面的动作。它就是,只需按一下启动按钮,电磁开关就能自动地使电动机转动下去。这是因为辅助触点 MC-a 的闭合动作形成了一个**自保持电路**(只需按动 PBS 一次,开关就能持续保持闭合状态的电路),它相当于具有记忆功能。

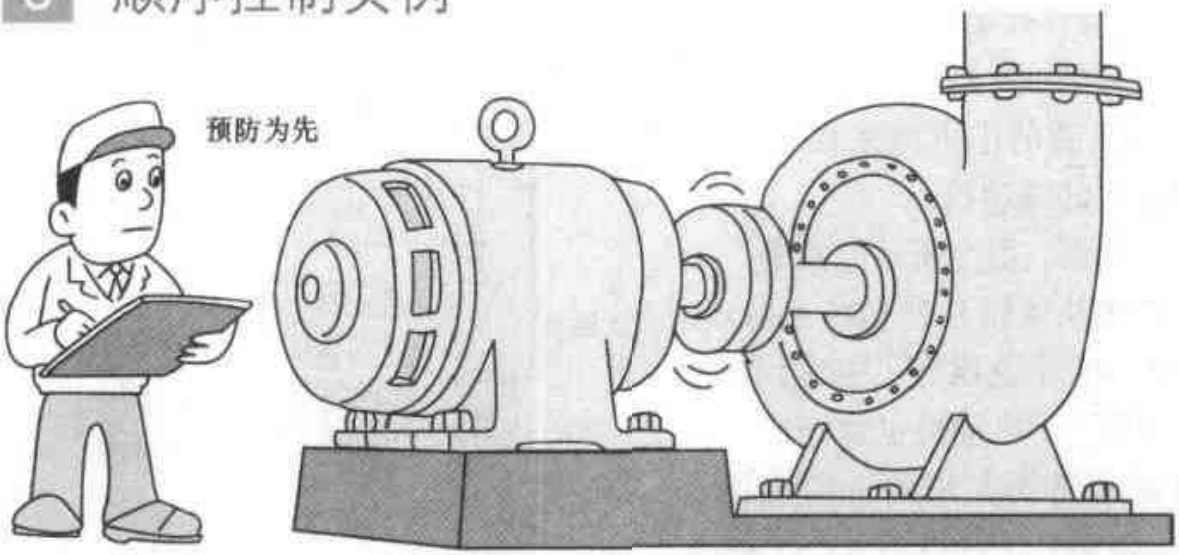
One Point

增加记忆功能

右图中,PBS 一接通,电动机转动的同时计时器 *TR* 也开始工作。电动机启动前一直亮着的绿灯由于辅助触点 MC-b 断开而熄灭,与此同时,触点 MC-a 接通,红灯变亮。计时器到达设定时间后,MC-a 触点断开,电动机停止转动。



3 顺序控制实例



电动机的正转和反转

我们把前节的内容再扩大一些，考虑电动机的正反转电路。大家知道，要让三相感应电动机反转，只要把三根电源线中的任意二根互相对换就行了。

图 1(a) 所示是正转电路（这时电动机按反时针方向转动）。将该电路改接成图 1(b)，则电动机反转(顺时针方向)。

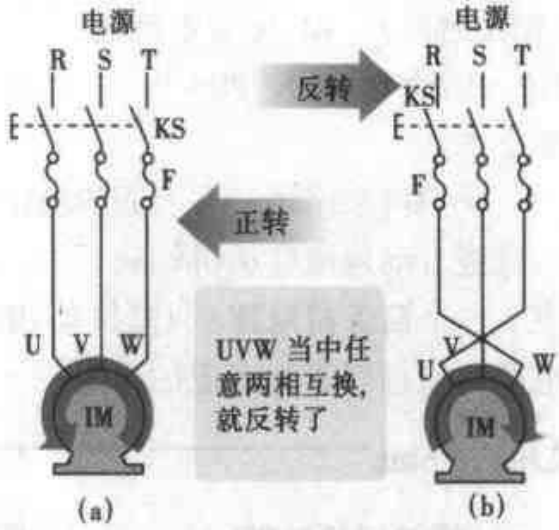


图 1　三相感应电动机正反转原理

图 2 所示电路具有正反转功能。按动按钮开关 PBS_2，则线圈 MCF 被励磁，开关 MCF 被接通，电动机按正方向转动。断开 PBS_1 使电动机停转，然后接通 PBS_3，这次是线圈 MCR 被励磁，MCR 开关被接通，电动机反转。

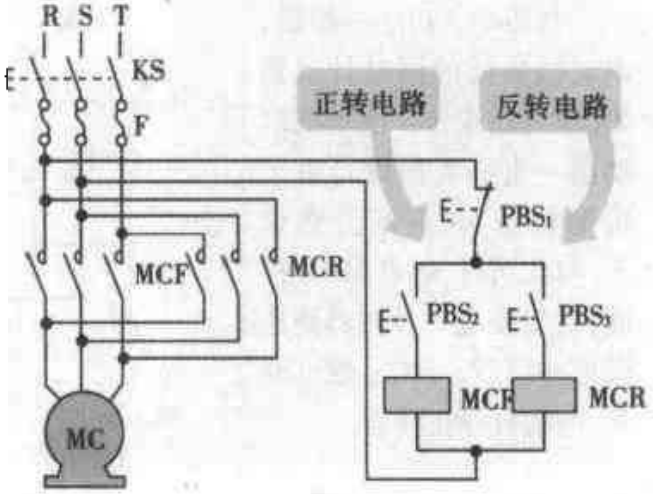


图 2　让电动机反转的电路

互锁电路的机构

实际上，图 2 所示电路是不能用的。这是因为如果 PBS_2 和 PBS_3 同时按下，电源就被短路，这是很危险的(图 3)。

因而就需要采取图 4 或图 5 所示的电路措施，即在接通正转启动开关的同时断开反转开关电路。此后，即使 PBS_3 接通，什么事也不会发生。这样的电路结构称为**互锁电路**。

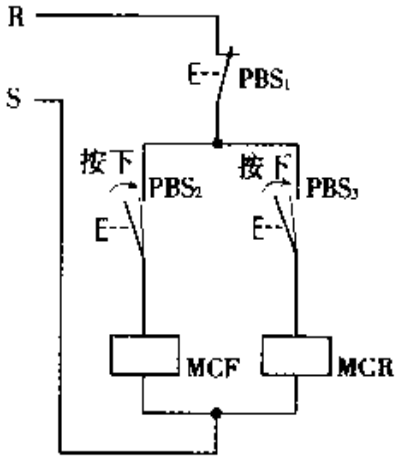


图 3 图中所示电路，当正、反转开关同时按下时，电源就短路了。

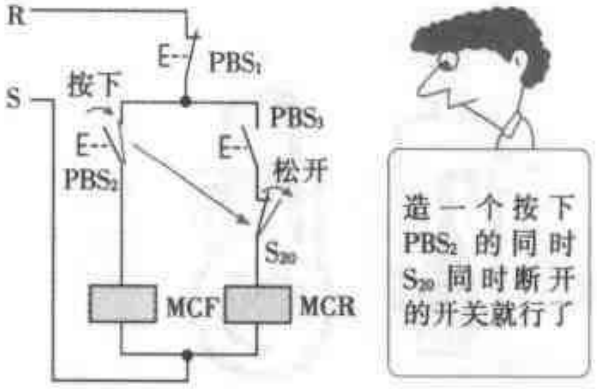


图 4 正转的互锁

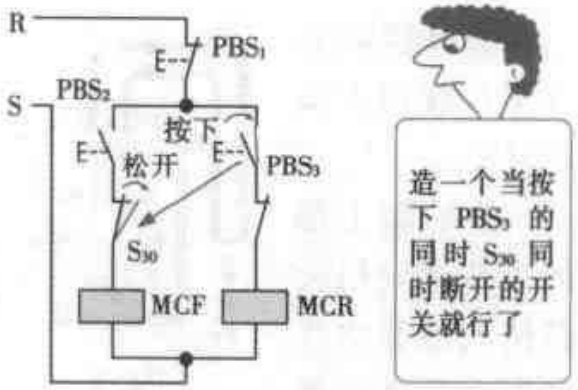


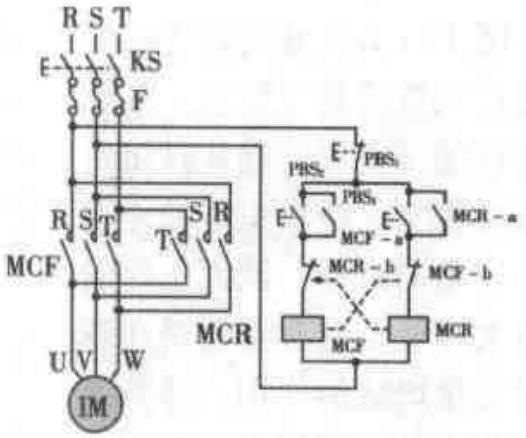
图 5 反转的互锁

One Point

试设计互锁电路

利用本节的知识自己做一个设计，看看完整的三相感应电动机运行互锁电路是个什么样的电路。

电路的原理如右图所示。按动 PBS_2，线圈 MCF 被励磁，于是触点 MCF-a 及开关 MCF 接通，而 MCF-b 断开。这些都是继电器操作的。对于 MCR，原理也一样。



具有互锁电路的正反转电路

4 什么是反馈控制



反馈控制

您可能熟悉汽车行驶的大概原理吧。

曲轴箱上部的火花塞发出火花使汽油和空气的混合物产生爆炸，爆炸能量推动活塞运动，把转动力传送给车轮（参看图 1 和图 2）。

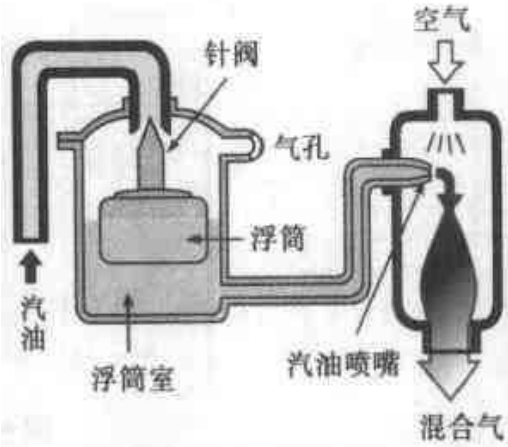


图 1 化油器的结构



图 2 活塞的运动

图 3 示出供油的情形。燃料泵把汽油送到浮筒室，气化后的汽油与空气一起从这里进入发动机室。浮筒室里始终保持一定量的汽油，油面上浮着一个大浮筒，它起着监视和调节汽油量增减的作用。浮筒上升表明汽油液面增高，当液面超过目标高度时，浮筒压迫针

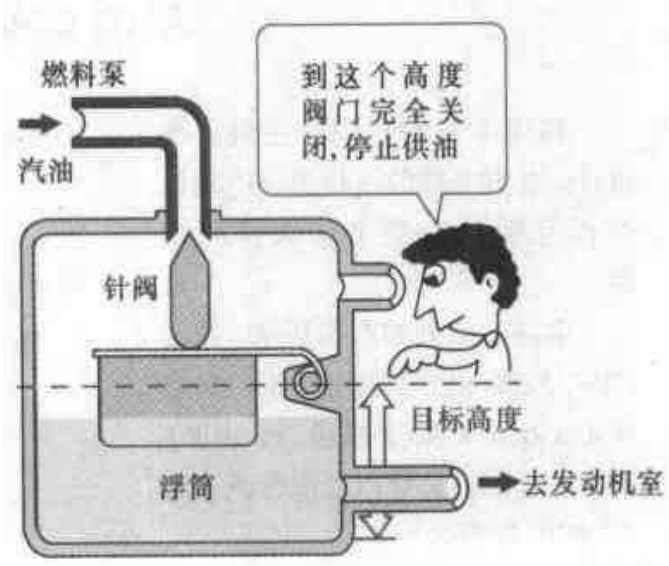


图 3 浮筒室

阀向上，阻止汽油流入；浮筒下降表明汽油量减小，这时针阀就让流入量增大。

也就是说，如果阻止汽油流入，浮筒室的油量就减少；油量一减少，流入量就又增加；增加了又得再阻止。这种动作终点返回到动作始点的过程就叫做**反馈**。大多数自动控制都采用这种反馈的原理，构成"从原因变成结果"那样的闭合回路（如图 4 所示）。

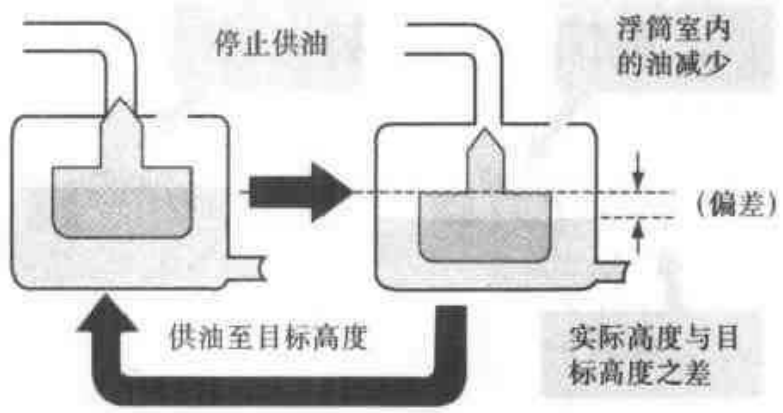


图 4 反馈工作的特点

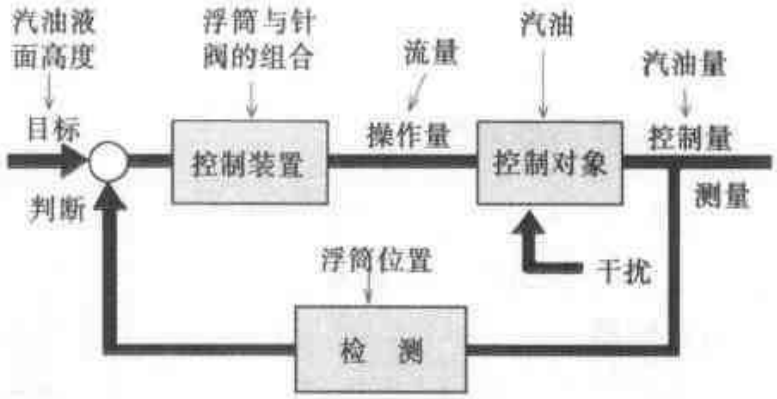


图 5 反馈控制

图 5 是对反馈控制一般关系的通俗说明，其中的控制对象是汽油，控制装置是浮筒和针阀的组合，它是控制的主体。

One Point

外界的干扰

自动控制当中，常会遇到来自外部的对控制质量产生不良影响的信号，例如当要加大发动机的输出功率时，就会引起浮筒室突然流出大量汽油，这种现象称为干扰。消除干扰影响也是自动控制的任务之一。此外，自动控制中还有必须考虑的时间滞后和一些其它必须解决的难题。



5 反馈控制实例



自动控制作用的原理

我们把上一节的内容延伸一下，以浮筒室动作为基础来看自动控制的性质。

浮筒的目标高度与实际液面高度之差在自动控制术语中称为**偏差**，它随着时间而变化。

偏差是作为一个信号进入装置的，怎样使操作量（在这里就是汽油流量）随着偏差信号变化是决定自动控制效果的重要问题。

如图 1 所示，根据前面的说明，浮筒一上升，偏差就变小，汽油流入量随之也变小。偏差一大，汽油流入量也增大。

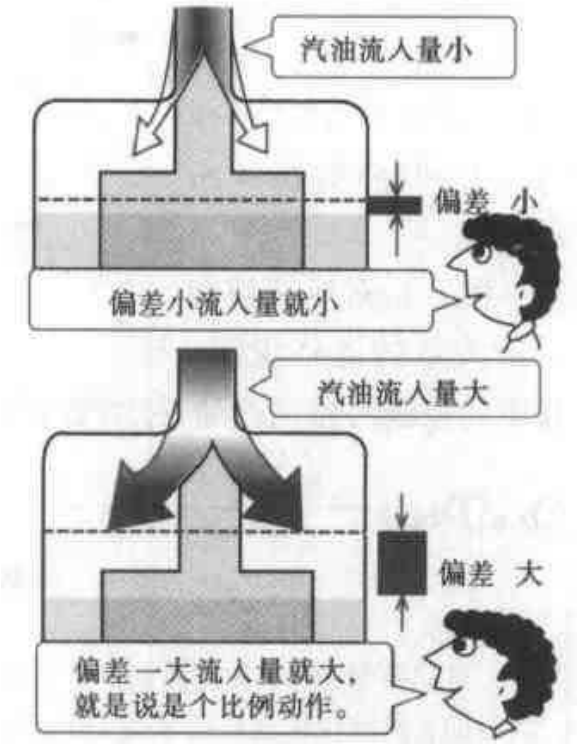


图 1 比例作用(P 作用)

这种**流入量**(操作量)与偏差成比例的作用称为**比例作用**或 P 作用。

当有干扰存在，汽油流出量突然持续增加时，浮筒下降后会一直停在那里不动。这种场合，常常在浮筒室的入口装设一个图 2 那样的装置来稳定控制作用。

如图 2 所示，浮筒位置一低，液体就把活塞 A 从下往上推，使阀门打开，汽油就不断地流入浮筒。图 3 所示为当浮筒位置升高时液体向下推动活塞 A 促使阀门关闭的情形。

这种情况下，汽油**流入量的变化**与偏差成比例，这种作用称为积分作用或 I 作用。

此外，也可以考虑让使流入量的变化与**偏差的变化率成比例**，例如，当流出量增大时偏差变化的速度就变大，这时可以把阀门开得更大一些。这种当偏差变化快的时候把阀门开得更大一些的作用称为微分作用或 D 作用。

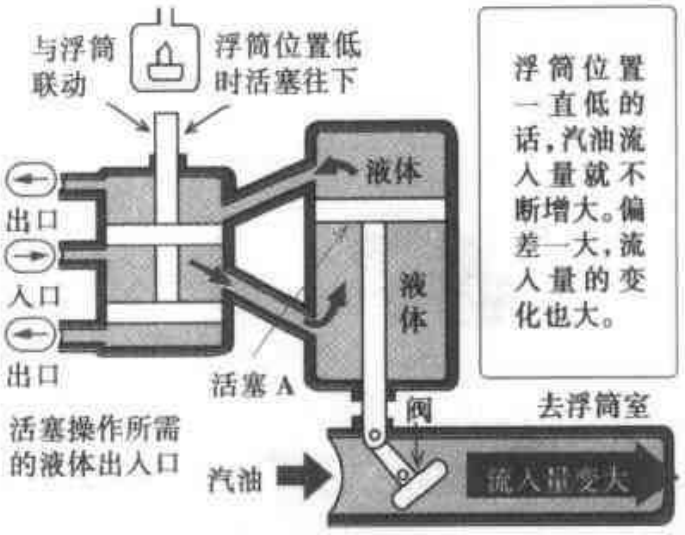


图 2 浮筒位置低时

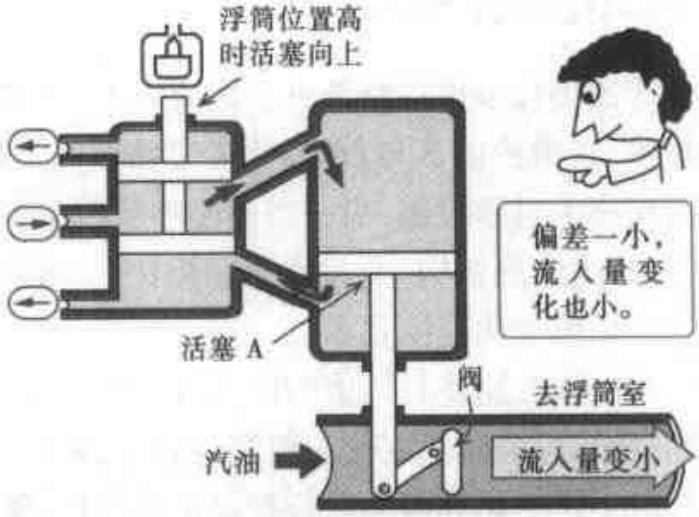
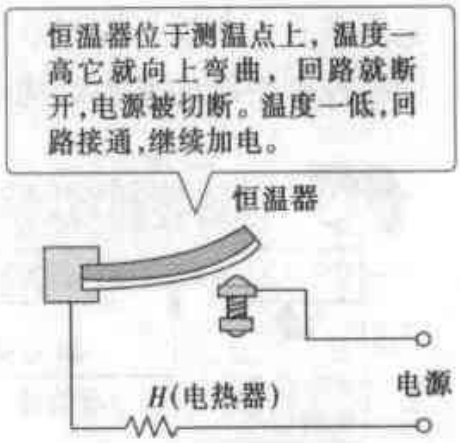


图 3 浮筒位置高时

One Point

最简单的控制——二值控制

也称为通断作用(on-off action)。假定我们想把加热器保持在 80℃ 上，如图所示，当温度高于恒温器的设定值时，触点就松开，低于设定值时触点就接通。这样，温度就以 80℃ 为中心上下摆动。这种控制作用是只执行通断命令的控制。



温度调节机构的例子

6 求传递函数



按控制量和目标值分类

反馈控制按控制量可分为两大类：一类控制量是温度、流量、压力、液位等，这类控制多与石油、化工等领域的工厂里进行的工业过程状态有关，因而称为**过程控制**；另一类是能够紧跟位置、角度、方位等目标值变化的控制，称为**伺服机构**。与过程控制相比，伺服机构的特点是控制量为机械位置和目标值变化范围宽等。

反馈控制按目标值的性质可分为目标值不随时间变化的控制（恒值控制）和目标值随意变化的控制（随动控制）。恒值控制多见于过程控制，用于针对干扰变化等因素进行控制作用修正；随动控制多见于伺服机构。

反馈控制系统的特性

我们来看一看反馈控制系统的特性。

反馈控制系统的基本结构示于图 1。如果想要了解控制系统中出现干

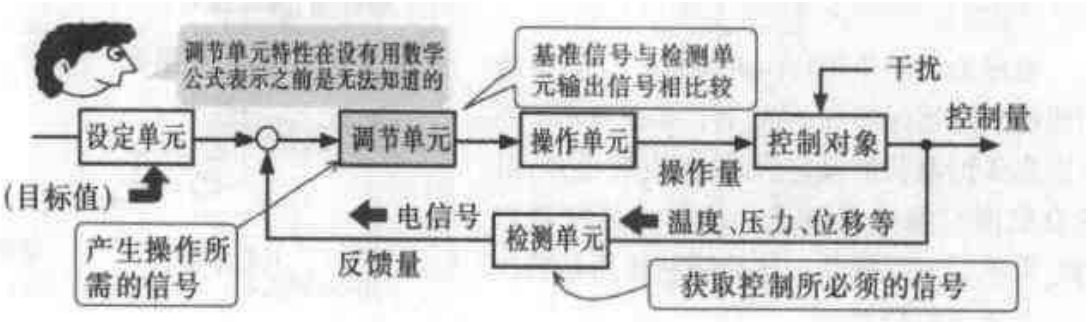


图 1 反馈控制系统

扰或者迅速改变目标值时控制量随时间怎样变化，以及这种变化是否在所设定的目标范围之内，只用图 1 的表示方法是不行的，需要将各方框分别用称为传递函数的数学公式来表达，然后了解各方框的特性。

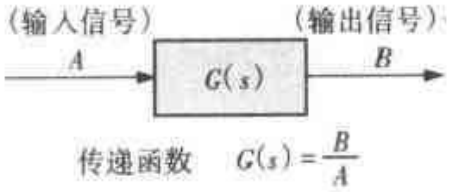


图 2 传递函数与输入输出的关系
（s 为拉普拉斯算子）

传递函数的涵义是输入信号怎样被传递到输出端而成为输出信号。如图 2 所示，传递函数可由输入信号与输出信号之比来表达。

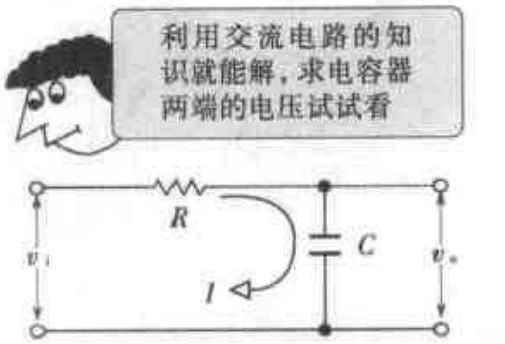


图 3

求传递函数

设检测部由图 3 所示的 RC 电路组成，试求其传递函数。

当输入端加有角频率为 ω 的交流正弦信号时，设输入电压、输出电压、回路电流分别为 $\dot{V}_i$、$\dot{V}_o$、$\dot{I}$，则传递函数可由求 $\dot{V}_o/\dot{V}_i$ 得到。

$$\dot{I}=\dot{V}_i/(R-jX_C)$$

$$\dot{V}_o=\dot{I}(-jX_C)=\frac{\dot{V}_i}{R-jX_C}\cdot(-jX_C)=\frac{\dot{V}_i}{(R-jX_C)/(-jX_C)}=\frac{\dot{V}_i}{\{R/(-jX_C)\}+1}$$

这里，先将 $X_C=1/\omega C$ 代入上式，求得频率响应 $G(j\omega)$，

$$\because\ \dot{V}_o=\frac{\dot{V}_i}{\omega CR/(-j)+1}=\frac{\dot{V}_i}{j\omega CR+1}\qquad\therefore\ G(j\omega)=\frac{\dot{V}_0}{\dot{V}_i}=\frac{1}{j\omega CR+1}$$

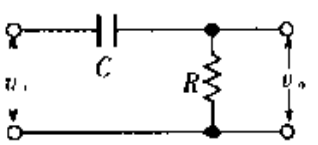
传递函数 $G(s)$可由该式将 $j\omega$ 换成 s 得到，

$$G(s)=\frac{1}{1+SCR}$$

One Point

试求传递函数

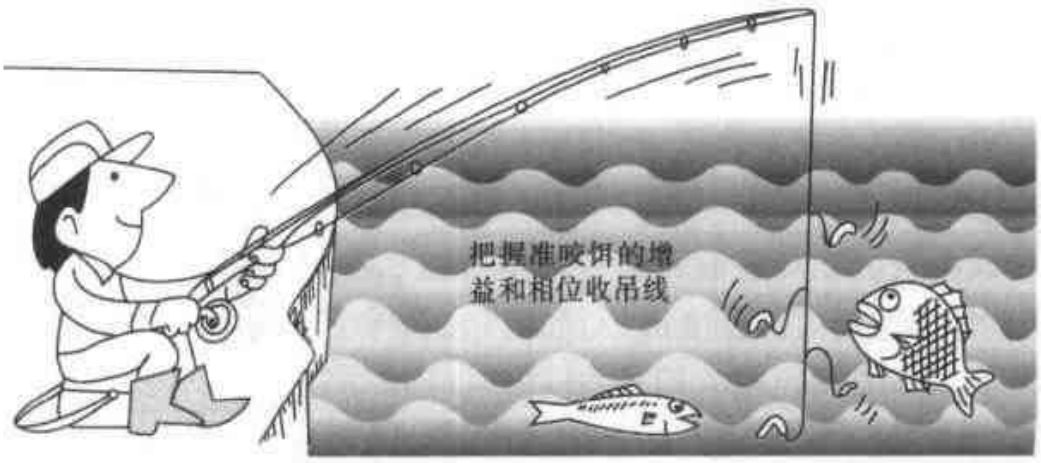
问　试求如图所示电路的频率响应 $G(j\omega)$和传递函数 $G(s)$。



答　$G(j\omega)=\frac{j\omega CR}{1+j\omega CR}$，　$G(s)=\frac{sCR}{1+sCR}$



7 增益与相位



具有一阶滞后单元的装置

图 1(a)所示电路中，当合上开关 S 时，电路中就有电流流过，但电流最终会变成 0。如果测量电容器 C 两端的电压，则开始时是 0，然后逐渐增大，最后将与电源电压等值。

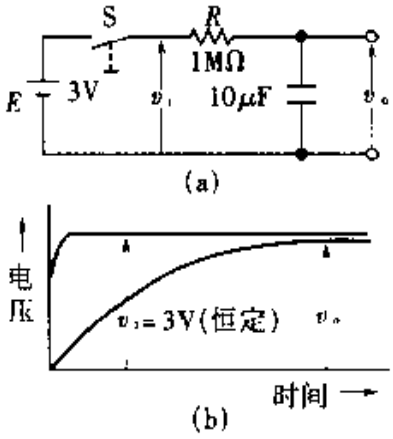


图 1 CR 电路

如果用曲线来描绘输入电压 v_i 与输出电压 v_o 的关系，可得图 1(b)所示的曲线。

这种电路的传递函数上一节已经求过了，其结果为 $G(s) = 1/(1 + sCR)$。由于该式是关于 s 的一阶函数，所以把具有这种特性的电路或装置称为**一阶滞后单元**。

图 2 是一个一阶滞后单元的装置。当进水量一定出水量一定时，水槽水位保持在一个固定的高度上。如果把水龙头开大使进水量加大，则水槽水位将渐渐增高，但最终仍将稳定在某个高度上。



图 2 一阶滞后单元的装置

一阶滞后单元传递函数表达式中的 CR 称为时间常数(time constant)。在图 1(a)所示的电路中，输出电压 v_o 上

升到电源电压 v_i 的 63% 所需要的时间就是这个电路的时间常数 T:

$$T = CR = 10 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{6} = 10 \text{ 秒}$$

增益与相位

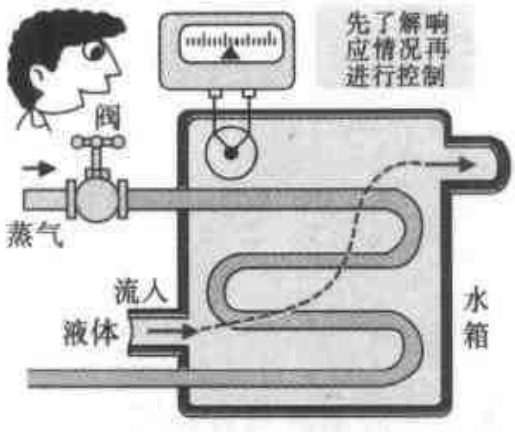


图 3 液体加热装置

输入信号变化所引起的输出信号随时间的变化称为**响应**。例如，当踩下汽车加速踏板时，过了一段时间汽车才达到一定的速度；对于图 3 所示装置，打开蒸汽阀门后，水箱中水的温度过了一段时间才达到目标值。充分掌握这种输出对输入信号响应的情况对于实际进行控制是非常重要的。

设输入端所加信号为正弦波 $\dot{A}$，其振幅为 A、相位为 θ_A，输出信号为 $\dot{B}$，其振幅为 B、相位为 θ_B，则频率响应函数为 $G(j\omega) = \dot{B}/\dot{A}$，其振幅比为 $G = B/A$，相位差为 $\angle\varphi = \angle\theta_A - \angle\theta_B$。

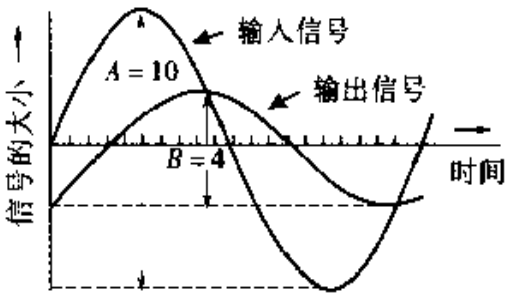
也就是说，输入输出关系可以分为振幅比 G 和相位差 φ。前者称为增益，常用分贝 g[dB]表示，即 $g = 20\log_{10} G$；相位差则直接用弧度数表示。顺便指出，相位差 φ 对于了解反馈控制作用滞后情况是非常重要的。

One Point

增益和相位的计算

问　根据右图所示正弦波输入、输出信号波形，求增益和相位。

答　由图可知，输入信号的振幅是 10，输出信号的振幅是 4，所以增益为 $G = 4/10 = 0.4$。另外，两个信号的相位差是 B 比 A 落后 60°（图中每刻度为 20°）。



输入波形和输出波形

8 波特图与矢量轨迹



频率响应函数与波特图

设计或使用实际控制系统时，常常要利用以波特图或矢量轨迹的形式所表示的频率响应函数。

频率响应函数可以用实验的手段获得，这时需要进行图 1 所示的测量。求出输出信号振幅 V_B 与输入信号振幅 V_A 之比的对数再乘以 20 就得到了增益 $g = 20\log_{10} V_B / V_A$[dB]，这在前一节中已经介绍过了。

输出信号与输入信号的相位差为 $\varphi = \theta_B - \theta_A$。信号频率不同时，$g$ 和 φ 的值各不相同。

所谓波特图，就是用曲线图表示的频率响应函数 $G(j\omega)$，它由二条曲线组成，一条是增益特性 g，一条是相位曲线 φ。

波特图的横坐标采用 ω[rad/s] 的对数，增益 g 的纵坐标采用对数标度，而相位 φ 的纵坐标采用角度值标度。

图 2 所示电路的频率响应函数上一节已经求过，是 $G(j\omega) = 1/(1 + j\omega CR)$。现在设 $R = 100$[kΩ]，$C = 1$[μF]，试求波特图。

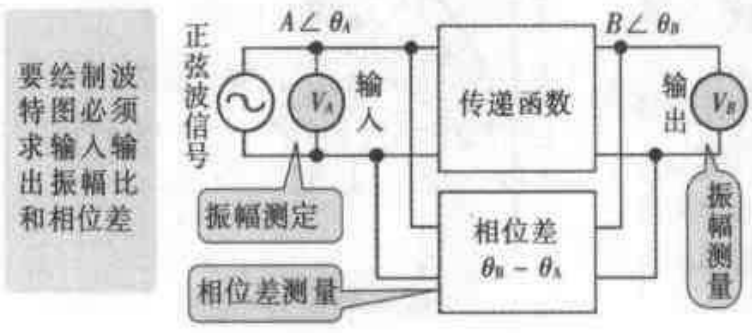


图 1 求波特图的测量电路

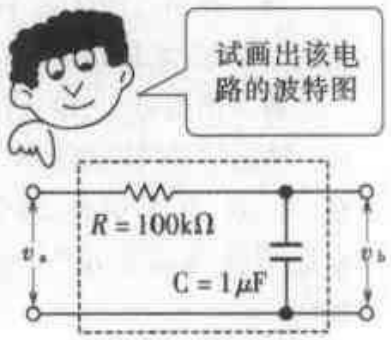


图 2 电路例

振幅比 G 为 $G(j\omega)=1/(1+j\omega CR)$ 的绝对值，$G=1/\sqrt{1+(\omega CR)^2}$，相位角 φ 为 $\tan\varphi=\omega CR$（请读者自己画出矢量图）。

ω [rad/s]	$g=-10\log10[1+(0.1\omega)^2]$	$\varphi=-\tan^{-1}(0.1\omega)$
0	0.0	0.0
1	-0.04	-5.7
5	-0.97	-26.6
10	-3.0	-45.0
20	-7.0	-63.4
50	-14.1	-78.7
100	-20.0	-84.3
200	-26.0	-87.1

于是，增益 g 和相位差 φ 如下（数值在计算过程中代入）

$$g=20\log_{10}\frac{1}{\sqrt{1+(\omega CR)^2}}$$
$$=20\log_{10}\{1+(\omega CR)^2\}^{-1/2}$$
$$=(-1/2)\times20\log_{10}\{1+(\omega CR)^2\}$$
$$=-10\log_{10}\{1+(0.1\omega)^2\}\ [\mathrm{dB}]$$
$$\varphi=-\tan^{-1}\omega CR$$
$$=-\tan^{-1}(\omega\times1\times10^{-6}\times100\times10^{3})$$
$$=-\tan^{-1}(0.1\omega)\ [\text{度}]$$

对于不同的 ω 计算出 g 和 φ 的值并画成曲线，就得到图 3 所示的波特图。

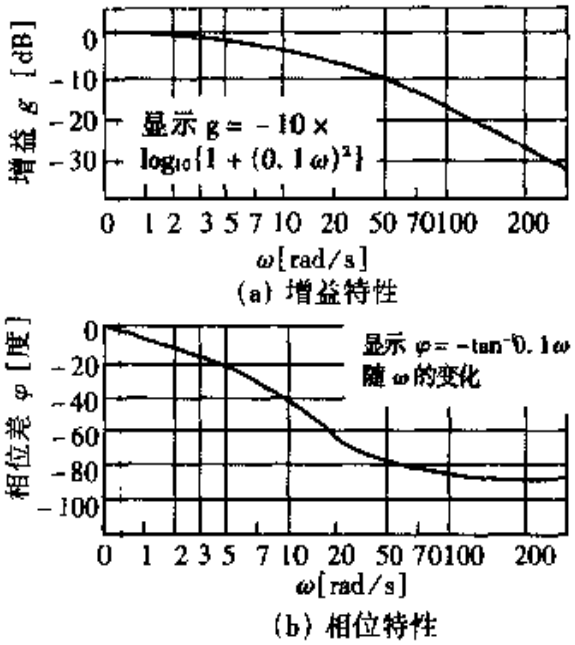


图 3 波特图的例子（$G(j\omega)=1/(1+j0.1\omega)$）

可用波特图是判断控制系统是否能稳定工作。

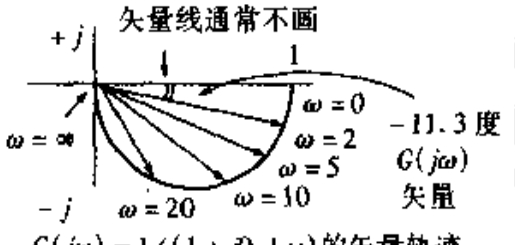
One Point

用矢量轨迹描绘的 $G(j\omega)$

矢量轨迹是将 $G(j\omega)$ 看作矢量，当角频率 ω 在 0→∞ 范围内变化时，由各矢量端在复平面上描绘出的一条轨迹。

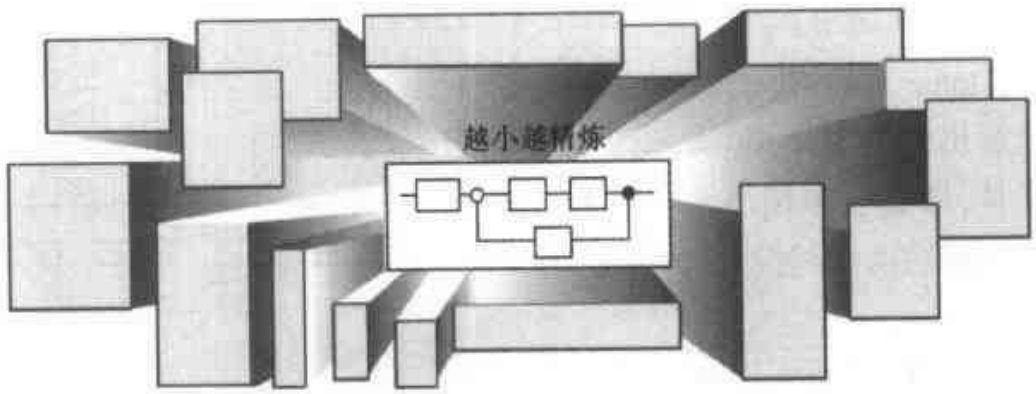
ω [rad/s]	$G=\frac{1}{\sqrt{1+(0.1\omega)^2}}$	$\varphi=-\tan^{-1}(0.1\omega)$
0	1.0	0.0
2	0.981	-11.3
5	0.894	-26.6
10	0.707	-45.0
20	0.447	-63.4
∞	0	-90.0

要画出上图电路的矢量轨迹，可以对 $G=1/\sqrt{1+(\omega CR)^2}=1/\sqrt{1+(0.1\omega)^2}$ 和 $\varphi=-\tan^{-1}(0.1\omega)$ 两式求出不同 ω 时的值并列成数据表格，然后画在复平面上（参看右表和右图）。



$G(j\omega)=1/(1+j0.1\omega)$ 的矢量轨迹

9 框图与传递函数



框图的作用

自动控制系统是由多个传递函数单元组合而成的，其组合的情形和信号的流向可以用**框图**来描述。

图 1(a)所示电路中，输出信号 $c = a + b$，称为加法电路，可用图 1(b)的框图表示。图 1(c)为 $a - b = c$，可用图 1(d)的所示框图表示。图 2(a)所示电路曾考虑过用图 1(b)所示符号表示，现在是用图 1(c)的所示框图表示。

图 3(a)是直流发电机的电压控制原理，该电路可用图 3(b)所示框图表示。如果输出电压由于某种原因而减小，则比较电压 v_c 因 v_o 减小而增大，发电机的励磁线圈电流随之增大，从而使发电机的输出电压增大。

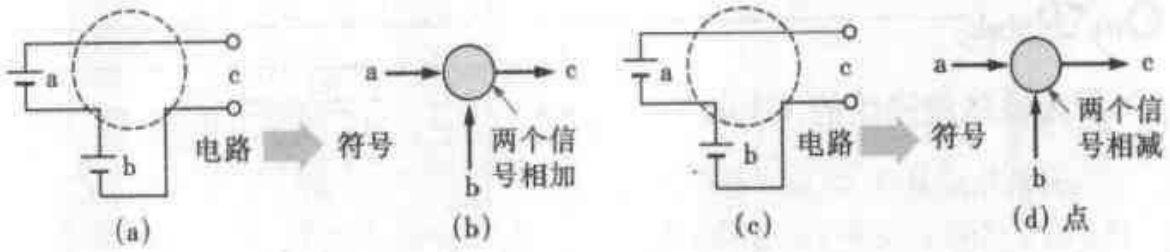


图 1 加法电路及其符号

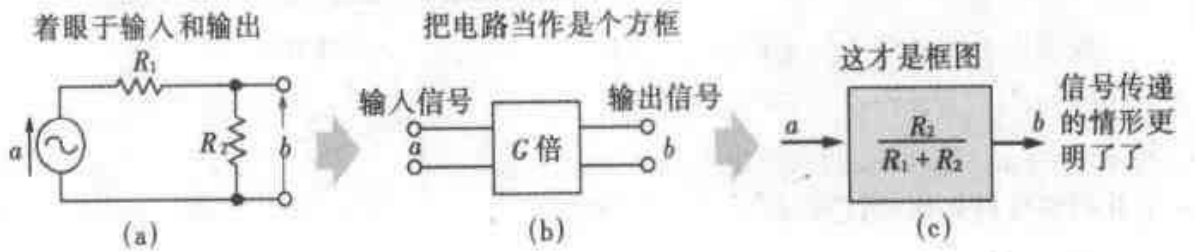


图 2 框图的形成

v_e 被放大 G_1 倍得到 v_f、v_f 被放大 G_2 倍得到 v_o 以及 v_o 被反馈到输入端的情形从框图上很方便地就读出来了。

从这个例子可以看出，即使控制系统很复杂，框图也能够统一明快地表示出信号传递的情形。

传递函数的等价变换

图 4 给出了传递函数等价变换的典型例子。

图 4 ③的反馈连接可由如下推导得出

$$b = a - d,\ d = Hc,$$

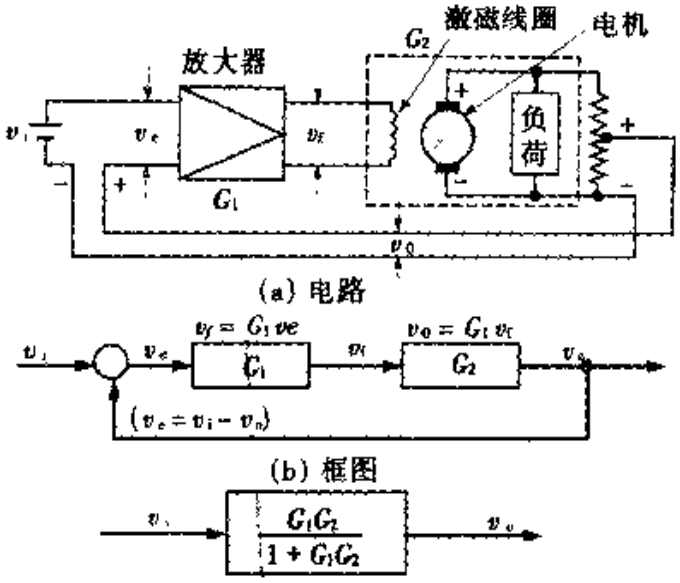
$$c = Gb = G(a - d)$$

$$= G(a - Hc)$$

$$\therefore\ c + GHc = Ga,$$

$$(1 + GH)c = Ga,$$

$$\frac{c}{a} = \frac{G}{1 + GH}$$



将图(b)表示成一个传递函数单元

图 3 直流发电机的电压控制电路及其框图

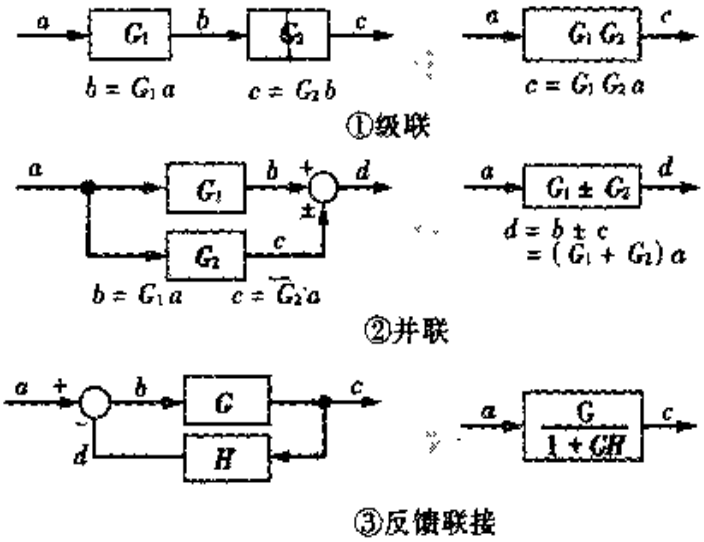


图 4 传递函数的等价变换

One Point

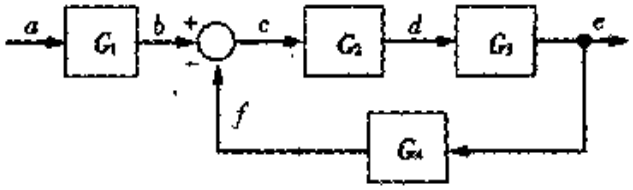
合成传递函数的计算

问　试求与图示框图等价的传递函数。

提示　$b = aG_1$, $c = b - f$,

$d = cG_2$, $e = dG_3$, $f = eG_4$

由这些式子求 $\frac{e}{a}$ 即得。

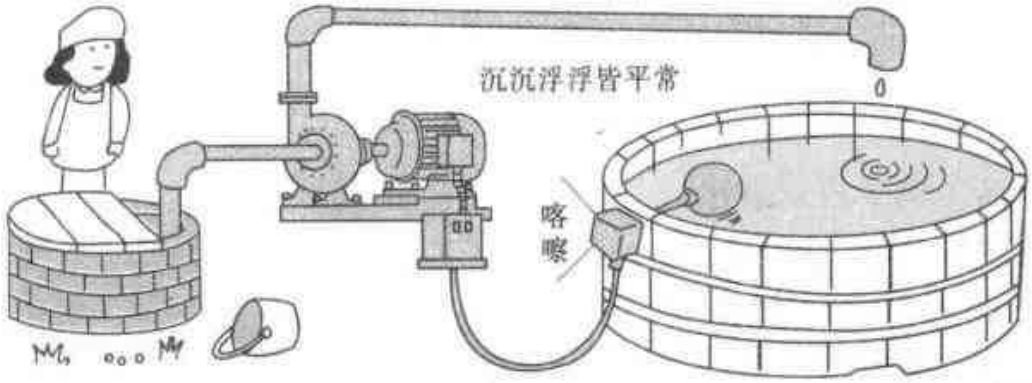


框图

答　$G' = \frac{e}{a} = \frac{G_1G_2G_3}{1 + G_2G_3G_4}$



10 顺序控制的检测装置



物位开关的作用

所谓物位开关，是指用于检测物料位置（上限或下限）的器件。顺序控制场合，它是检测水位、导电性液体、粉末等物料上下限的主体器件。图 1 示出了用**浮子开关**检测液位的例子。

图 1(a)是由浮子的上浮直接推压微动开关的物位开关。图(b)是在浮子上装上磁铁，由舌簧管的开闭来检测液位的物位开关。浮子只能用于液体，而图 2 所示**静电电容式物位开关**既可用于液体场合又可用于粉末状或块状物料场合。它是利用控制对象物料与空气的介电常数差别很大而根据电容变化来检测物位的。

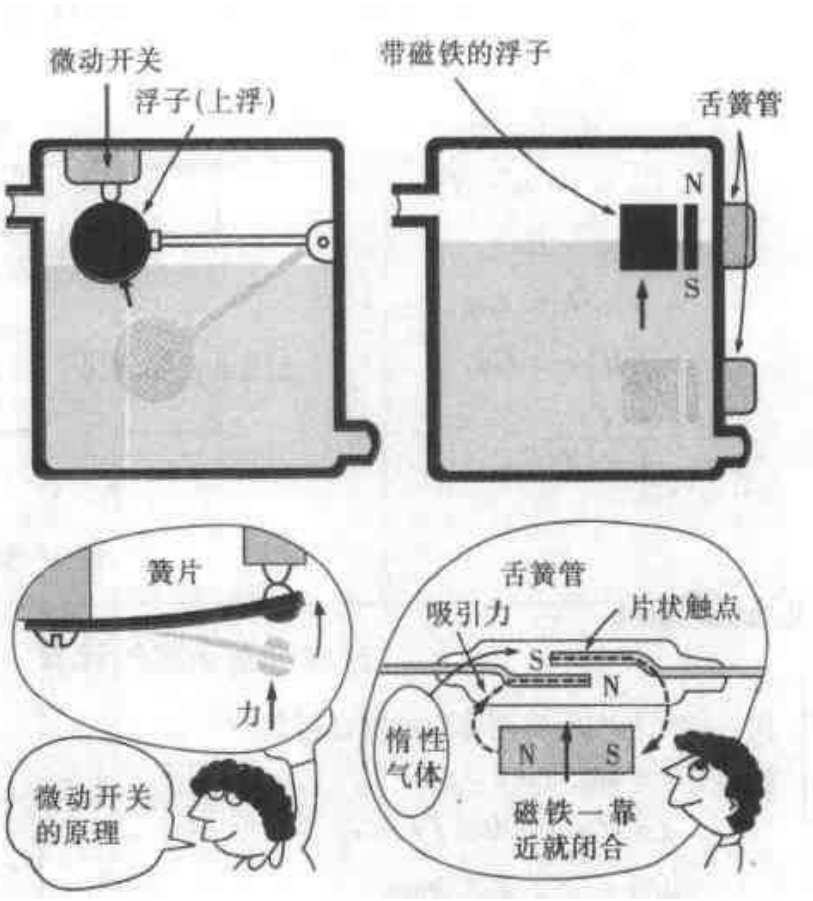
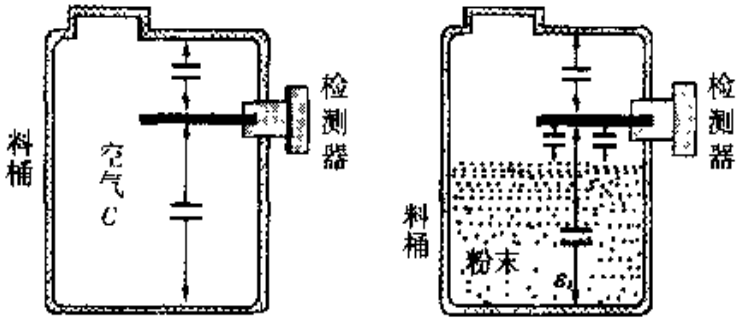


图 1 用浮子开关检测物位

如图 2(a)所示，设物料桶空着时的电容为 C。图 2(b)是料桶里装有电容率为 ε_s 的粉末状物料时的情形，这时电容为 $\varepsilon_s C$。电极所感受到的电容之差是个 1pF 至几 pF 的微小值，通常要配以振荡电路来进行检测。



(a)空桶 时电容为 C　　(b) 满桶时电容为 $\varepsilon_s C$

图 2 静电电容式物位开关的工作原理

图 3 是光电开关的例子。光电开关一般是一套利用光电元件的作用把光变成电信号后再用电路进行处理的装置，与其他开关相比，它在反应速度快、不受距离限制、分辨率高等方面具有优势。

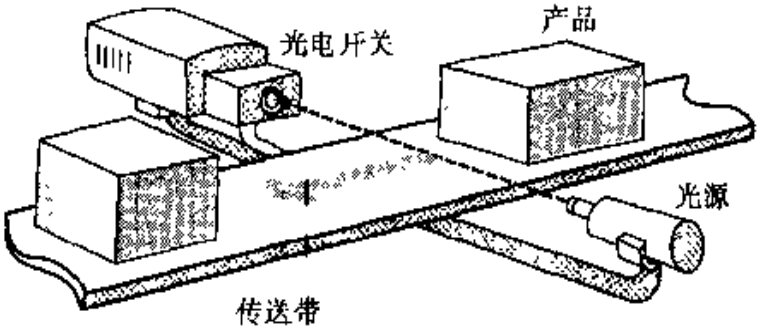
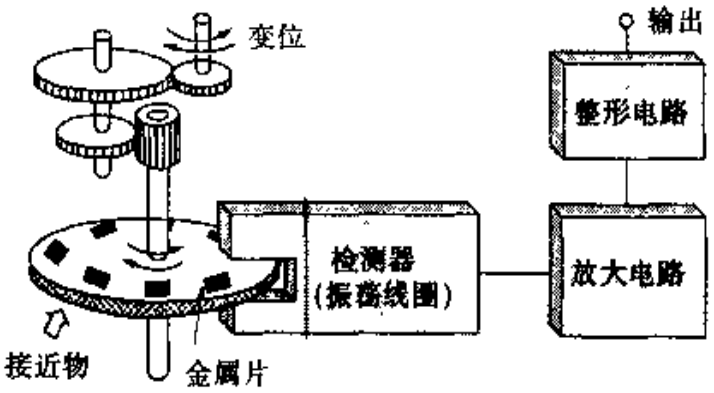


图 3 光电开关应用例

One Point

无触点开关

右图是被称为无触点开关的结构示意。它不像微动开关和限位开关那样需要机械扭矩，其特点是开关本身不带转动部分。图中所示的接近物上的金属片一接近振荡线圈，振荡就停止，将此时的振幅变化加以放大整形，然后再通过功率放大器去推动继电器工作，从而起到开关作用。



无触点开关

11 反馈控制的检测装置



喷嘴挡板

喷嘴挡板的原理如图 1 所示，它由喷射压缩空气的喷嘴和与喷嘴相垂直的金属挡板构成。当挡板发生微小位移，喷嘴挡板间的间隙变小时，喷嘴内部的压力 P_n（称为**背压**）就变大，输出气压也就变大。



图 1 喷嘴挡板的原理

波纹管

波纹管如图 2 所示，它是由被压制成波纹状的弹性金属薄板构成的，通入管内的空气压力能使其发生伸缩变化。图中示出了气压升高、弹簧受压迫向上收缩、触点开放的情形。图 3 示出的是波纹管应用的例子。

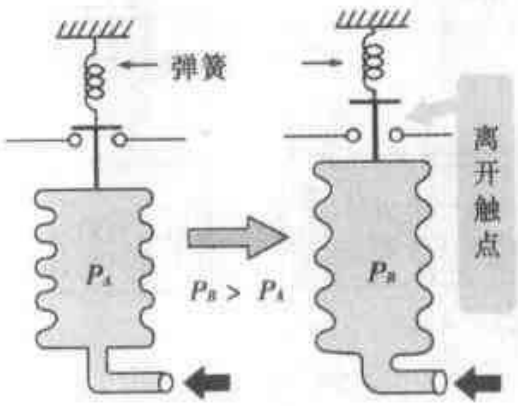


图 2 波纹管的原理

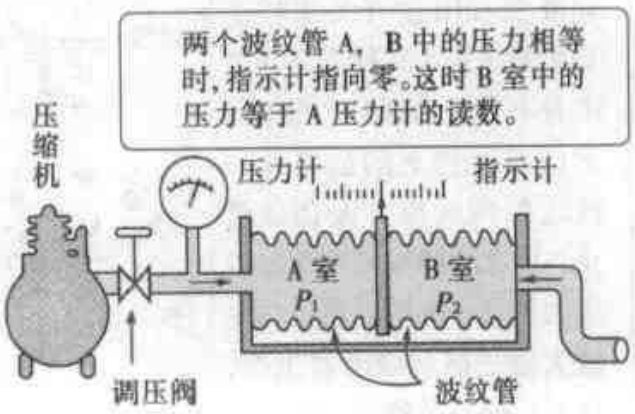


图 3 压力检测

应变片

应变片是一种将镍铜合金线贴在纸垫上构成的测压器件。当应变片上加有压力时，其电阻值发生变化，从这一变化值可以求得压力(图 4)。

应变片也有将压力变为电抗的，失真仪中就用着这种应变片。

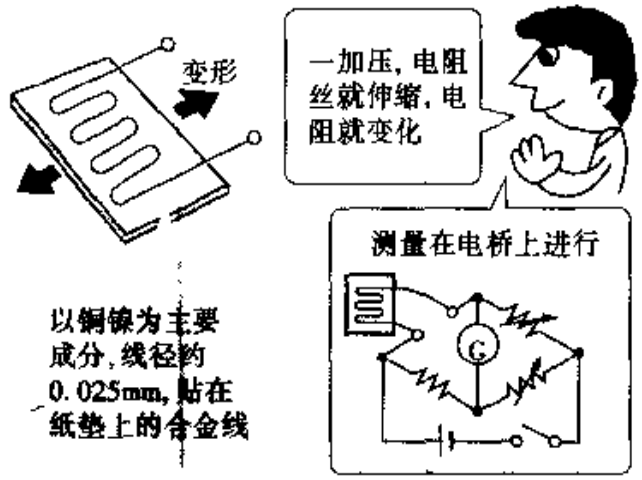


图 4 用应变片测量压力

半导体压力传感器

除应变片外，还有压敏二极管等半导体压力传感器（图 5）。用锗和硅作压力传感器灵敏度也很高，在车用(汽车)电子器件领域有很大的潜力。

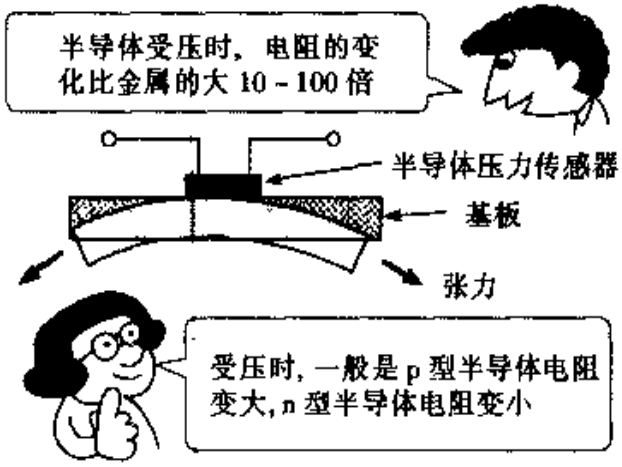
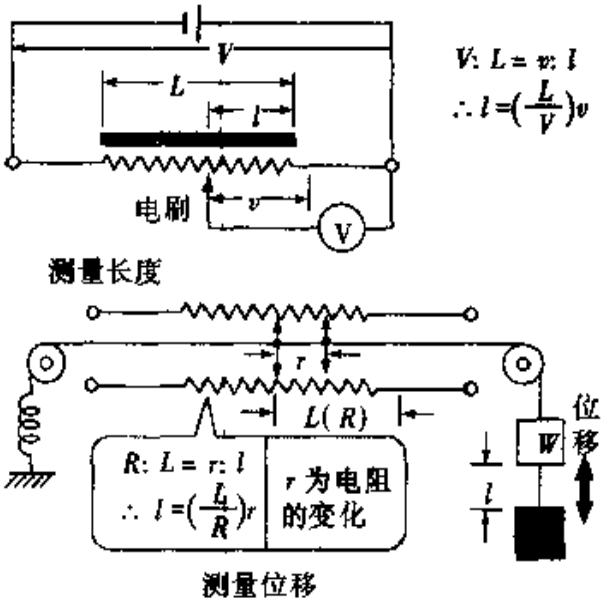


图 5 半导体压力传感器

One Point

电阻法测量位移(长度)

直尺、卡尺、测微计等都是测量长度的工具，但它们都无法取出与位移成比例的信号。右图中，利用滑线电位器的电阻能获得位移，电刷触点在电阻丝上滑动，电阻产生与触点移动成比例的变化，由这一变化即可求得位移。



测量位移

12 过程控制



过程控制的特点

化工、石油、造纸等工业都叫做过程工业，它们都是按规定向制造装置（车间）供给原料和能量，采用把有关的温度、压力、液位等环境条件保持在规定值上的方法来保证生产出合格产品。

图 1 示出了过程控制的构成及其原理的例子。过程控制的基本单元有：检测单元、变换单元、放大单元、调节单元、指示记录单元及操作单元等。

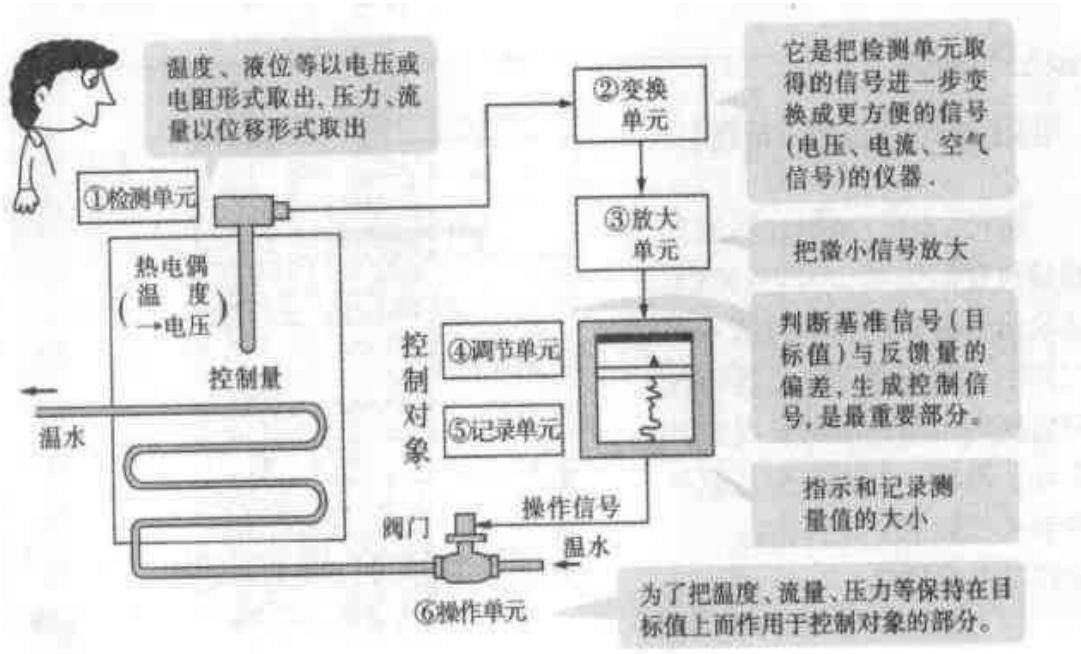


图 1 过程控制的原理

放大单元中的仪器

检测单元仪器的例子在上一节已介绍过，变换单元的将在下面介绍，这里介绍两种放大单元仪器的例子——喷管和先导阀。

图 2 是喷管的结构图。喷管尖端持续向两个受流孔 A、B 喷射高压油，如果加在喷管左右两侧的力（位移）不平衡，就会有一个受流孔得到较多的高压油，这边的压力就变大，从而操纵活塞向某个方向滑动。其结果就表现为喷管两侧的小作用力被放大成了能推动活塞运动的大油压。

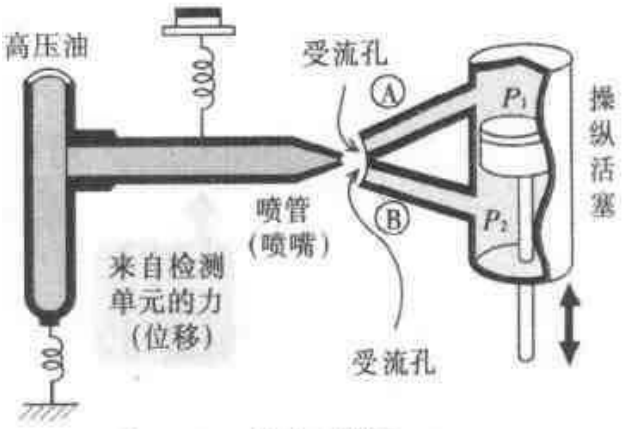


图 2 喷管

图 3 是先导阀的结构图。当加上喷管背压时，膜片被推动，阀打开，高压空气流进气室并作为操作气压输出到用气装置。其结果，喷管背压的小压为被放大为大的操作气压。

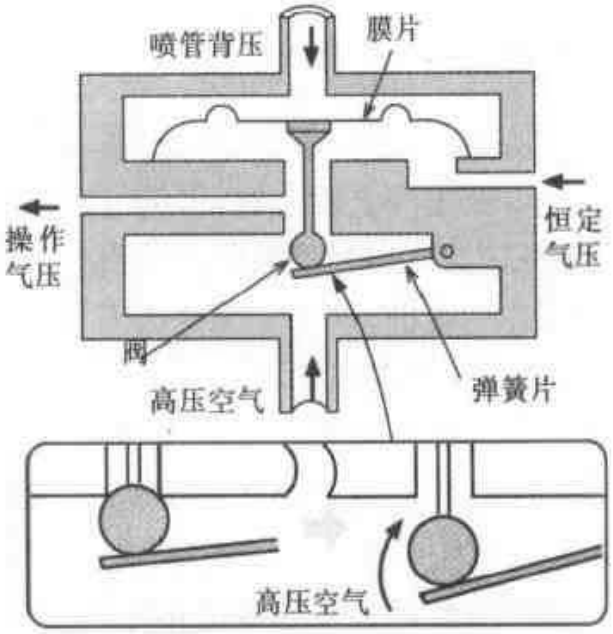
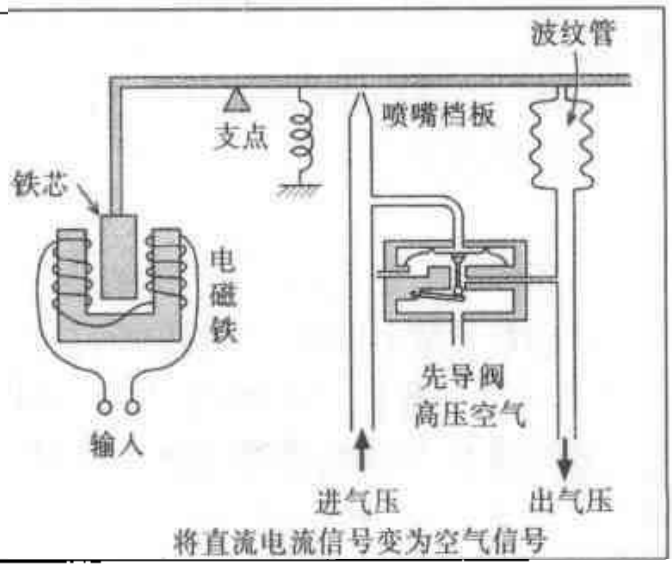


图 3 先导阀

One Point

将直流电流变为气压

电－气转换器是一种把直流电流变成空气压力信号的装置（右图）。它的工作原理是当直流电流（10～50mA）流过电磁铁线圈时，位于线圈内的铁芯被吸引，喷嘴挡板间的间隙发生变化，向先导阀送去背压，从而得到输出气压。



将直流电流信号变为空气信号

13 机电一体化



什么是机电一体化

从字面上就可以知道，机电一体化是机械与电子相结合的技术。

以家用洗衣机为例，水桶与叶片、离心装置与旋转轴、旋转所需要的皮带轮和皮带、容纳这些东西的机箱等都是机械单元。无论是老式洗衣机还是新式洗衣机，这些零部件都不会变。但老式的洗衣机因为没有实现机电一体化，所以它在洗衣服时还必须由人用手来控制洗衣、漂洗、甩干三个步骤。

现在的全自动洗衣机只要一接通电源，其余的进水、洗衣、漂洗、甩干等过程全都由机器自己去自动完成(图 1)。

之所以能如此，是因为有了一种称为微处理器的小芯片，它能实现计算机的功能。

机电一体化的核心单元是传感器、处理器和驱动器等。

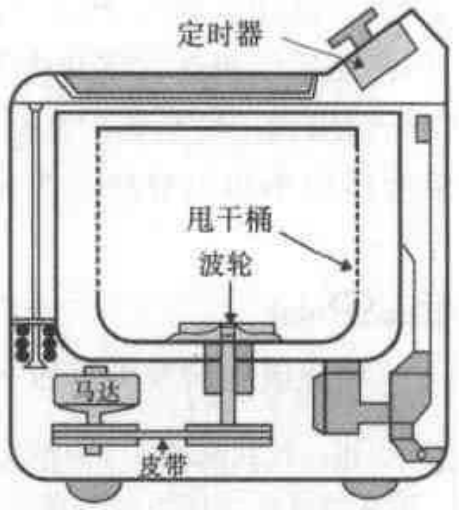


图 1 全自动洗衣机

传感器的任务

传感器的基本任务是检测位置、位移和长度，也包括根据位置不同由鼠标、触摸屏等输入的各种信息。此外还有超声波传感器、触觉传感器、接近传感器、红外传感器、X 射线传感器、由固体摄像元件实现的视觉传感器等。

处理器的任务

处理器的任务是对传感器所获得的信息进行处理后向驱动器(驱动机械的装置)发出指令。处理器由半导体 IC(或 LSI、VLSI)构成,起着 CPU(计算机的中央处理器)和存储器(暂时或永久存放信息的装置)的作用。存储器有 RAM 和 ROM 之分, ROM 是只能读出已存储信息的存储器, RAM 是能随时写入和读出的存储器。

驱动器的任务

驱动器是将各种能量变成机械能的装置。驱动器的种类很多,最基本的是定位机构。定位机构上带有动力和控制作用的装置总称为伺服机构。

图 2 简单示出了以上实现机电一体化各部分的关系。

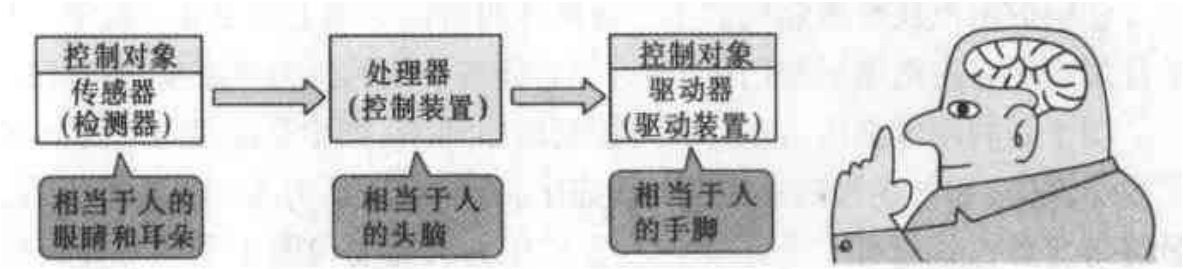


图 2 机电一体化的构成

OnePoint

工业机器人

工业机器人的核心是具有人的手和腕的作用的机械手部分。机械手与检测装置、控制装置及机器人本体合在一起构成完整的工业机器人。自由度是工业机器人中表示它能够在多大程度上自由运动的术语。工业机器人的动作以转动和前后运动为主,能够像图 3 所示那样转动的是一个自由度,如果像图 4 那样再加上一个能前后运动的机构,就成了两个自由度。要想使机器人能完成更高级的动作,就得增加自由度的个数。

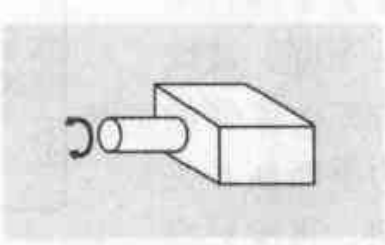


图 3 转动(1 自由度)

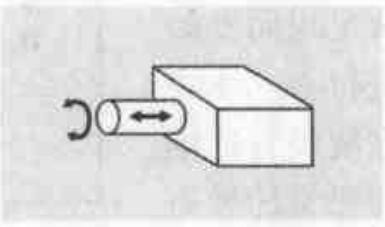


图 4 转动 + 来回运动(2 自由度)

14 压力、流量和液位控制



压力控制的原理

让锅炉蒸汽或管道煤气的压力保持在所希望的值上就是压力控制。为了让用户能自由地增减使用量，供给端必须按规定的压力状态供(汽)气。

图 1 是利用蒸汽压力进行压力控制的原理图。图中是通过将水加热来产生蒸汽的，如果在汽锅处于密封状态下持续加热，压力会无限制地上升，最终将导致汽锅爆炸。为了保持一定的压力，需要像图中所示那样来配置。当压力上升时波纹管伸长切断电热器的电源，电源一断，电热器停止加热，靠自然冷却使压力下降；压力一下降，波纹管收缩，弹簧的弹力重新使开关接通，再次对汽锅进行加热，这种情况周而复始地进行着。压力是靠波纹管的推力和弹簧的弹力相平衡来保持的。

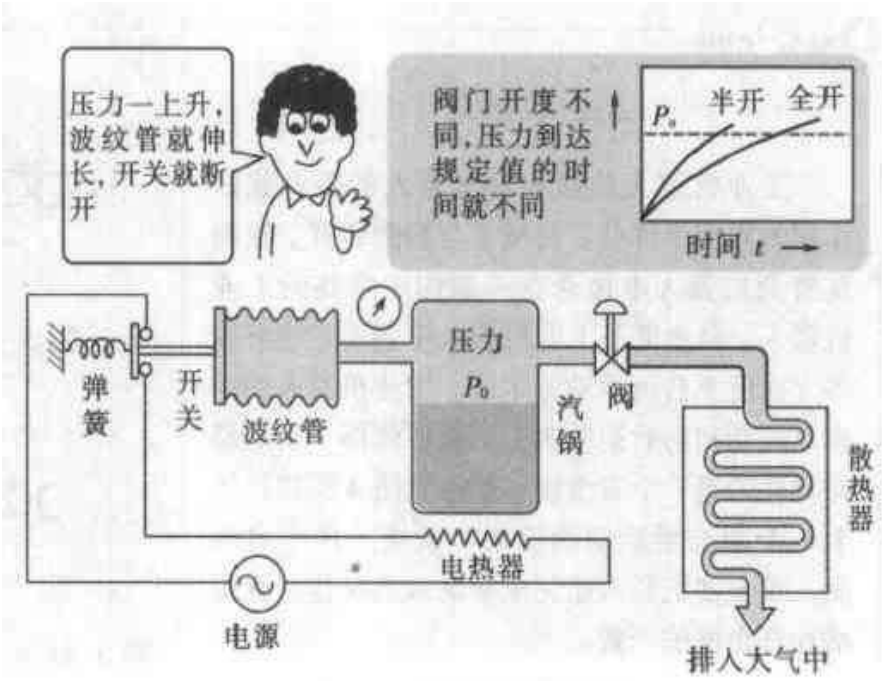


图 1 压力控制原理



流量控制的原理

为使管道中的流体按目标值流动而对流量进行的控制就是流量控制。

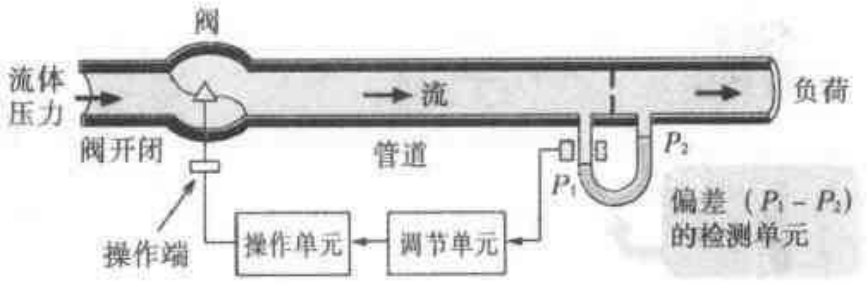


图 2 流量控制原理

如图 2 所示，检测出压差之后，由调节单元和操作单元来开关阀门，流量就得以控制。

图 3 所示为流量控制中常用的节流孔流量检测方法。在管道里面设置一个称为节流孔的孔板，将节流孔前后的压差作为位差来检测。由于位差与流量成比例，所以只要配上一个备有浮标的**差动变压器**，就可以把流量变为电压而输出。



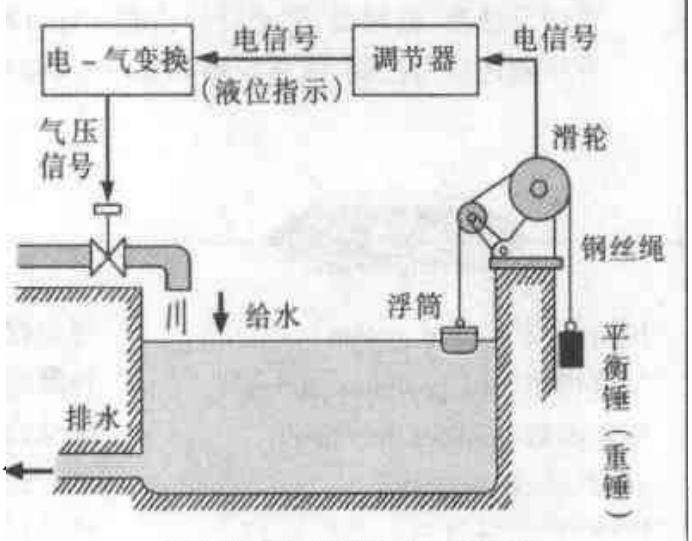
图 3 用节流孔检测流量

One Point

液位控制的原理

右图示出了液位控制的原理，浮筒根据重锤的平衡作用而上下运动。

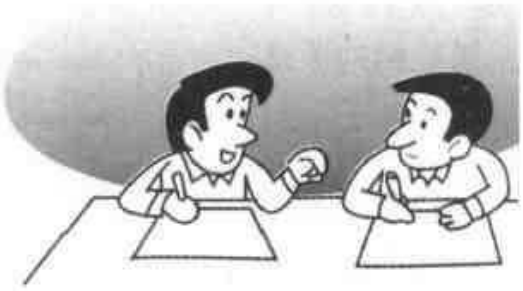
液位的高度与滑轮的转角成比例，取出与转角成比例的电信号送给调节器，再由电－气变换器变为气压信号，并由此来控制给水阀的开闭。



贮水池液位控制原理(浮筒式)



本章小结

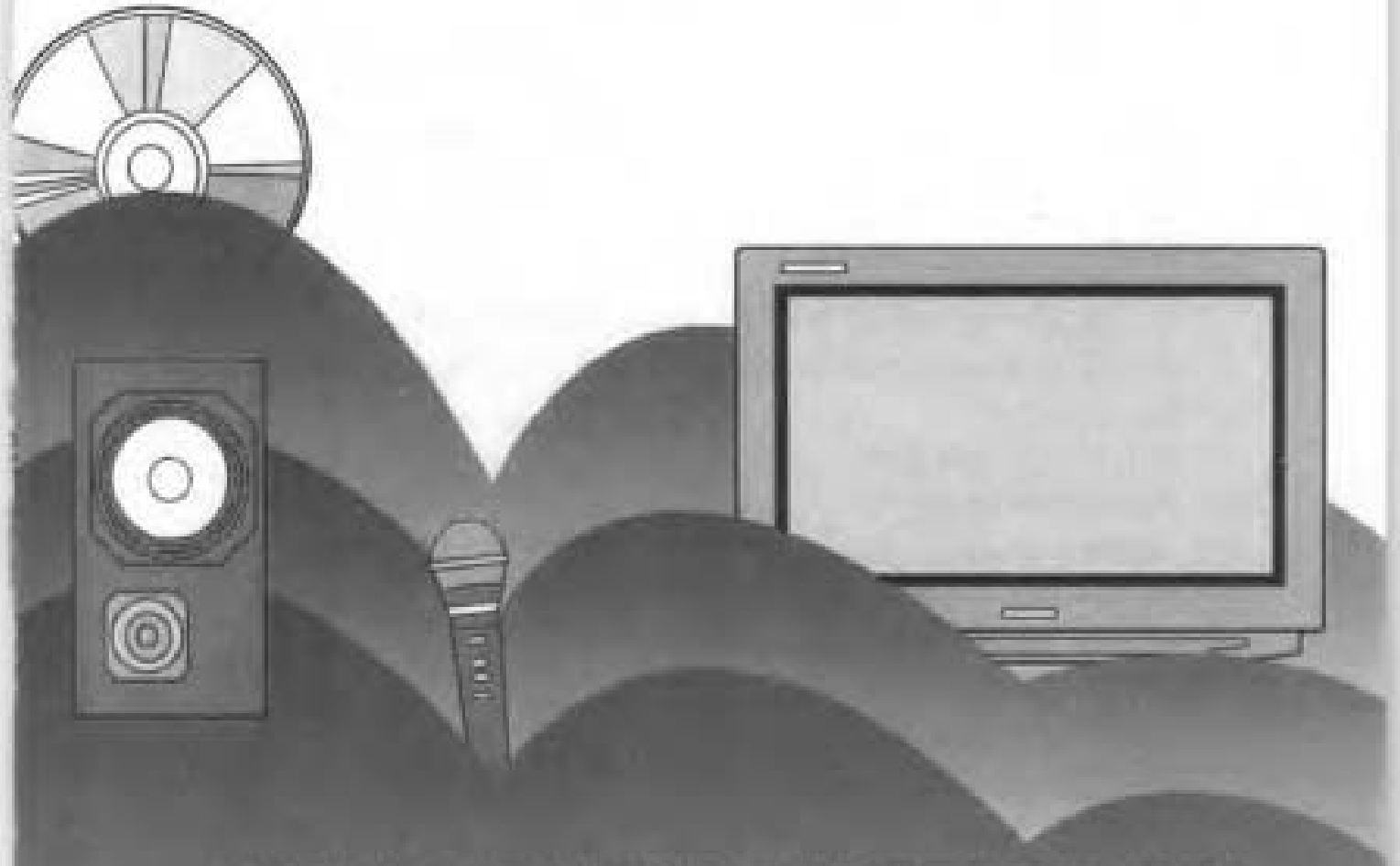


1. 什么是常闭触点和常开触点。(p. 158 ~ p. 159)
 说明热动过电流继电器的工作原理。(p. 159)
2. 试述顺序控制的特点。(p. 160)
 说明自保持电路的功能。(p. 161)
3. 互锁电路机构是什么样的。(p. 163)
4. 试述反馈控制的特点。(p. 164)
5. 分别说明 P、I、D 作用与偏差的关系。(p. 167)
 以温度调节机构为例说明二值控制的原理。(p. 167)
6. 试述恒值控制和随动控制的特点。(p. 168)
 什么是传递函数。(p. 169)
7. 举出具有一阶滞后单元的电路,求电路的传递函数。(p. 170)
 什么是增益。(p. 170)
8. 波特图是表示什么的。(p. 172)
9. 试述为什么需要框图。(p. 174)
10. 试述静电电容式物位开关的原理。(p. 177)
11. 反馈控制的检测装置有哪些。(p. 178)
12. 试述过程控制的特点。(p. 180)
13. 说明传感器、处理器、驱动器的功能。(p. 182)
14. 分别叙述压力控制、流量控制和液位控制的原理。(p. 184 ~ p. 185)

重要词汇

控制作用(control action)
二值作用(two positions action)
传递函数(transfer function)
框图(block diagram)
恒值控制(fixed value control)
随动控制(correlated control)
伺服电动机(servomotor)
电动调节器(electric controller)
过程控制(process control)
流量控制(flow control)

6 音响设备及图像通信



在日常生活中，视听设备（或称为 AV 设备）逐渐多了起来，给我们每天的生活带来了许多欢乐。现在，AV 设备在家用电器中已经占据了主要位置。然而，由于不懂这些设备的构造和原理而造成使用不当的事例却时有发生。

因此，本章中我们将借助于适当的插图，以通俗易懂的方式，就 AV 设备的原理、特点及有助于正确理解其使用方法的有关问题作一介绍。

本章中对于用 AV 设备欣赏节目时应该注意哪些问题也作了适当介绍。此外，还将介绍高清晰度电视、视频编码压缩光盘（CD）、视频编码压缩光盘只读存储器（CD-ROM）等最新技术。

1 话筒的原理

实质就是变声信号为电信号



在唱卡拉 OK 时手里拿的话筒也称为拾音器或麦克风，它是把声音或音乐信号（信息）变为电信号的装置。话筒的种类很多，这里我们只介绍动圈式话筒和电容式话筒。

动圈式话筒

图 1(a)示出了常用动圈式话筒的外形，其内部构造如图 1(b)所示。

如图所示，话筒内部的主要部分是永磁铁、振动膜、可动线圈等。为什么这种构造能把声音变成电信号呢？

图 1(c) 示出了动圈式话筒的原理。永磁铁的磁极之间放着一根导体，可以设想这个导体沿着箭头所指方向移动的情形。这时，导体（实际上是个可动线圈）中将产生出弗莱明右手法则所决定的电动势，于是线圈中就有电流流过。

回到图 1(b) 再来看话筒内部的实际动作过程，这就是：

声波从左侧传过来→振动膜受声波作用左右振动→固定在振动膜上的可动线圈随着振动膜一起振动→可动线圈中产生服从于弗莱明右手法则的电动势→所产生的电动势出现在输出端上。

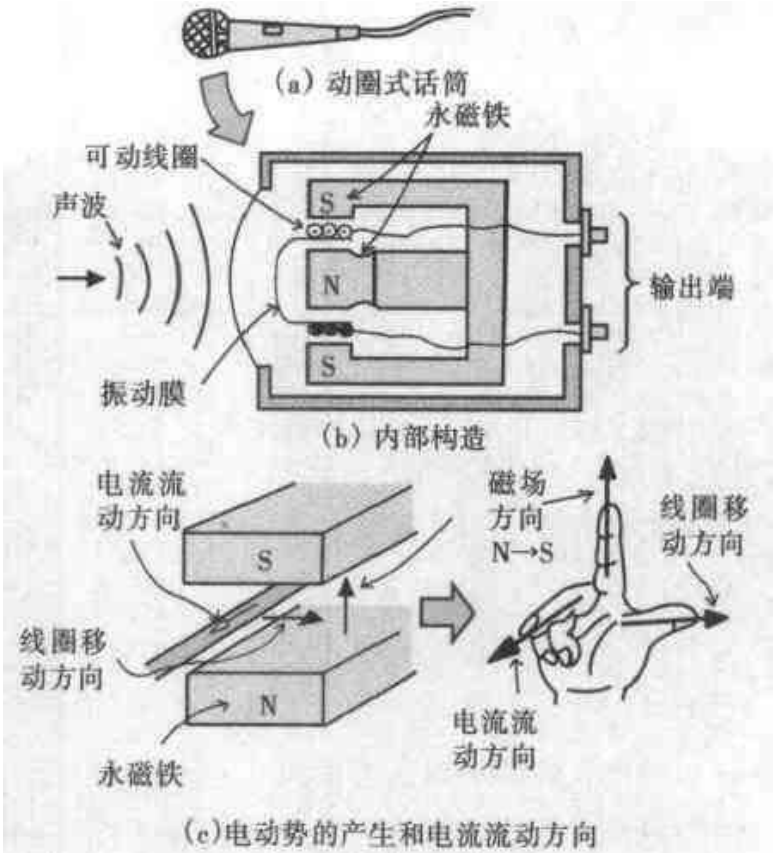


图 1　动圈式话筒

声音信号就是这样变成了电信号的。显然，声波越强所产生的电动势越大，声波越弱电动势越小。

电容式话筒

我们再来看电容式话筒。图 2(a)是电容式话筒的外形图，图 2(b)示出其内部构造。如图所示，振动膜和固定电极是主要构成单元，振动膜与固定电极形成了一个电容器。

电容器的种类很多，图 3 是平板电容器的原理图。

现在，设金属板（它就是电极）的面积为 A [m²]，金属板间的间隔为 d [m]，板间所夹的绝缘体的介电常数为 ε，则该平板电容器的电容量（储存电荷的能力）C 可由下式表示：

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} [\mathrm{F}]$$

请注意该式中 d 是变化的。因为 C 表示的是储存电荷的能力，所以 d 一变化，储存在金属板上的电荷量也就变化了。回到图 2(b)来看，其过程是这样的：

振动膜受声波作用而左右振动→由振动膜和固定电极构成的电容器的金属板间隔 d 发生变化→电容器的电容量 C 变化→储存在电容器中的电荷变化→电荷的变化部分流过电阻 R 而形成输出电压。根据声波强弱的不同，输出电压的大小也随之变化。

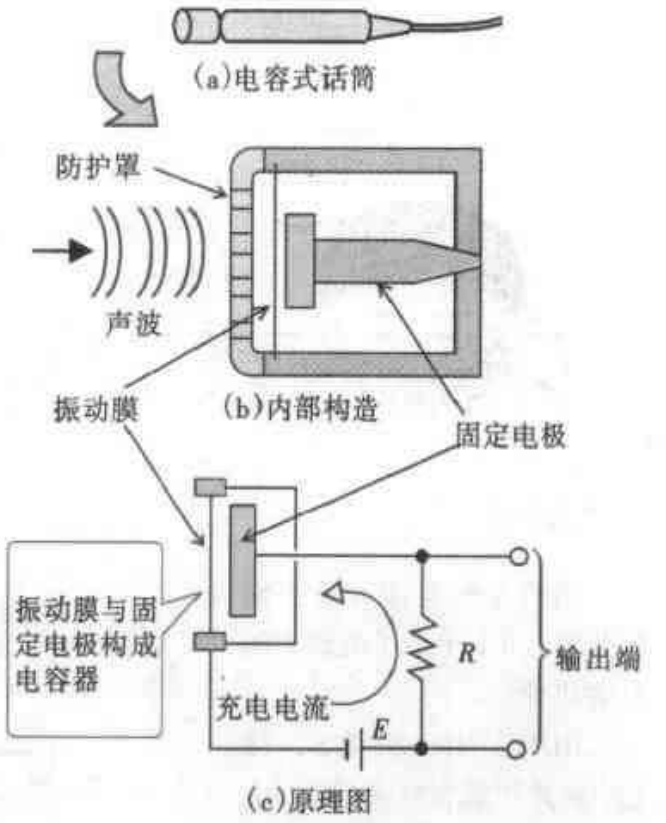


图 2　电容式话筒

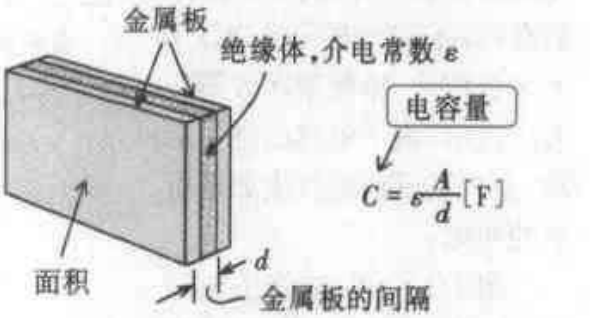


图 3　平板电容器

Let's review!

1. 动圈式话筒的三个主要构成单元是什么？
2. 动圈式话筒的工作原理中，弗莱明法则是右手法则还是左手法则？
3. 话筒是把声音变换成什么信号的装置？
4. 电容器的电容量 C 可表示为 $C = \varepsilon A / d$，对于电容式话筒，在这个公式中，是哪个参数在变化？
5. 当声波碰到电容式话筒时，输出电压将出现在图 2(c)的什么地方？

2 喇叭的原理

变电信号为声信号



电动式喇叭

喇叭是把电能变成声能的装置。图 1 示出了电动式喇叭的原理。

图 1(a) 中，开关 S 一接通，回路中就有电流流动，电磁铁 B 上就产生如图所示的 N 极和 S 极。永磁铁 A 是原来就有的，它的 S 极与电磁铁 B 的 S 极相斥，锥筒就向着箭头方向运动。由于锥筒的这一运动，空气的密度将发生如图所示的变化。

图 1(b) 中，电源方向与图(a)相反。接通开关，电流流动，电磁铁 B 上产生如图所示的 N 极与 S 极，永磁铁 A 的 S 极与电磁铁 B 的 N 极相吸，锥筒向箭头所指方向运动。由于锥筒的这一运动，空气密度发生如图所示的变化。

实际上，电源是来自于放大器输出的交流电，图 2 所示是将电源换成交流电的情形。由于是交流电，所以电磁铁 B 的 N、S 极时刻在改变，

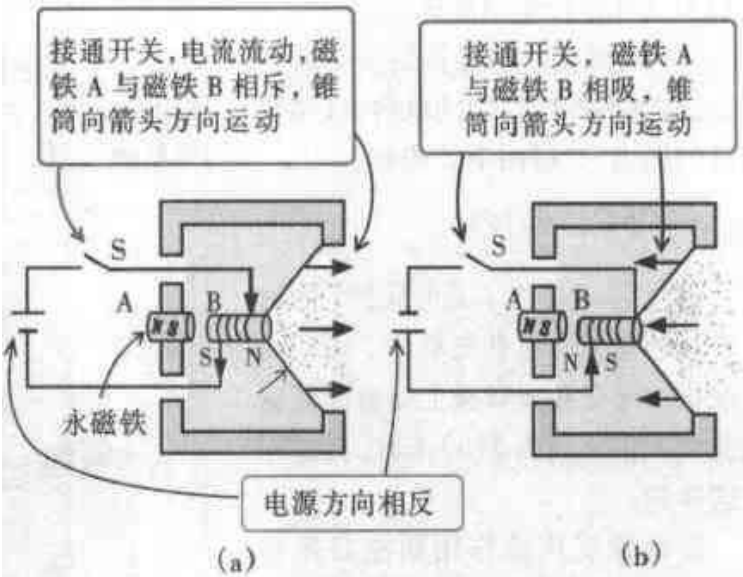


图 1　电动式喇叭的原理

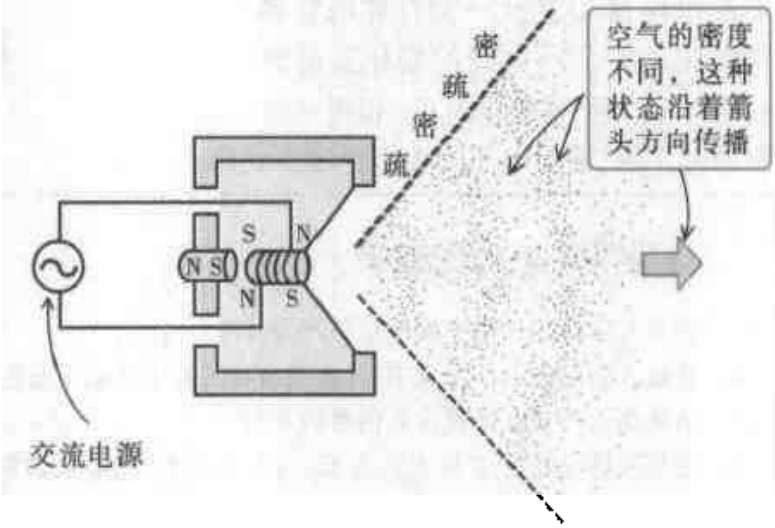


图 2

即图 1(a)和(b)的状态交替出现，锥筒产生振动，所以空气的疏密情况就如图 2 所示。

这就是说，电能被变换成了锥筒振动的机械能，机械振动使空气变成疏密相间的状态，这种疏密相间的状态就是声波。

喇叭箱

用一只喇叭难以重现人所能听到的频率范围（从高音到低音），一是声音有失真，二是方向性不好。

为此，常采用由两个喇叭组成的双声道扬声系统或由三个喇叭组成的三声道扬声系统。**双声道扬声系统**由一个能充分重现高音的喇叭（称高音喇叭或高音频扬声器）和一个能充分重现低音的喇叭（称低音喇叭或低音频扬声器）组成。如果再加上一个中音喇叭（中音频扬声器），就构成了**三声道扬声系统**。

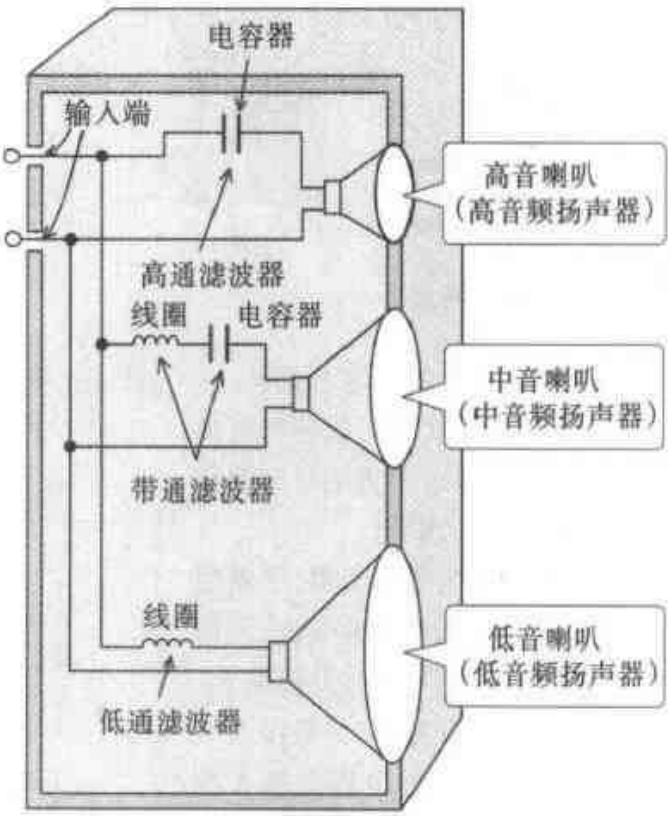


图 3　3 声道扬声系统

图 3 示出了一个三声道扬声系统。由图可以看出，高音喇叭尺寸小，低音喇叭尺寸大。

此外，只让高音通过的电路是由电容器实现的，这种电路称为**高通滤波器**。与此相反，只让低音通过的电路由线圈来实现，这种电路称为**低通滤波器**。高音与低音之间是中音，只让中音通过的电路由线圈和电容器实现，这种电路称为带通滤波器。

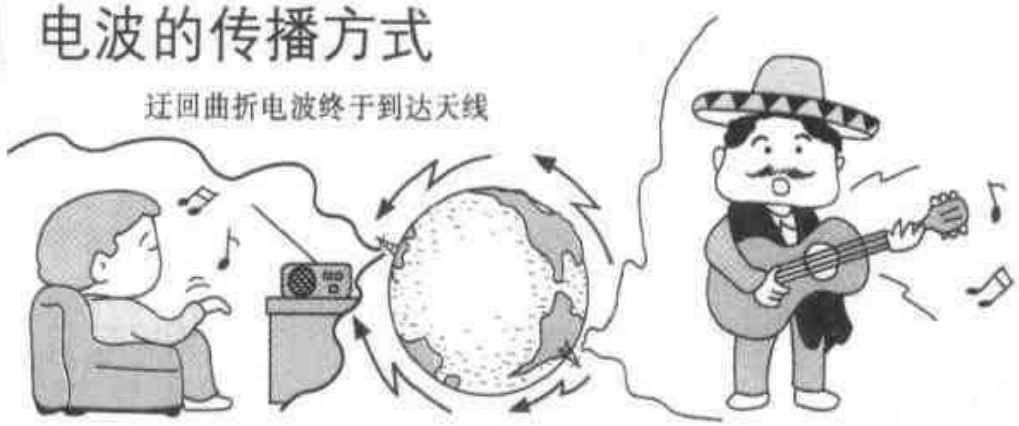
这样一来，由高、中、低音喇叭所组成的扬声系统就能够覆盖人所能听到的声音的全部范围，把接近于实际的声音送到人的耳朵里。

Let's review!

1. 喇叭是把电能变换成什么的装置？
2. 空气的疏密是由喇叭的哪一部分的振动产生的？
3. 什么是高音喇叭？
4. 低音频扬声器是重现什么声音的喇叭？
5. 三声道扬声系统是由哪些喇叭组成的？
6. 带通滤波器的电路元件是什么？



3 电波的传播方式



地球上空的电离层

离我们居住的地球表面约 11～12km 上空的大气层称为**对流层**，空气在对流层中发生对流现象，从而形成各种气象变化。电波在通过对流层时会受到一种称为散射的影响。

对流层往上是**平流层**，平流层在温度不变时几乎没有气流，因而电波在这一层中不太会受影响。

再往上是**电离层**，它是由大气吸收太阳辐射能而电离出的大量电子和离子构成的。当电波入射到电离层时，由于受电子的影响，其前进道路将发生弯曲而返回到地面上来。图 1 示出了电离层、平流层和对流层的位置关系。

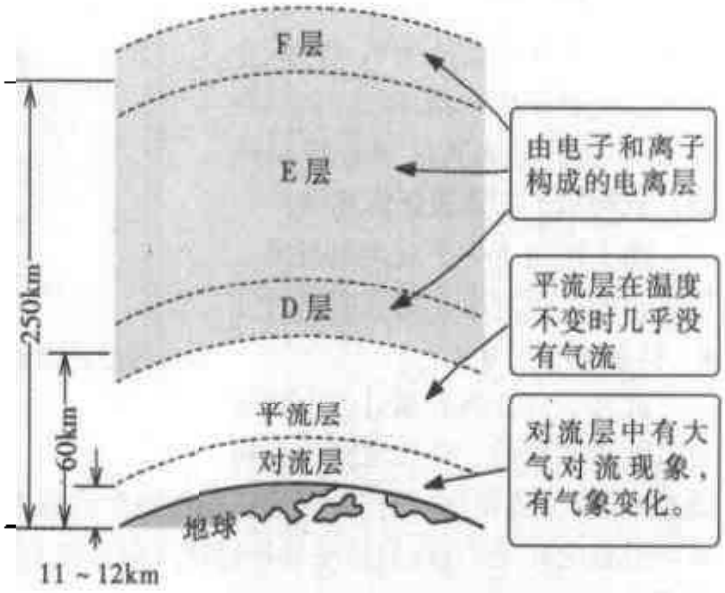


图 1　电离层

电波的传播方式

电波到达电离层时会发生反射、折射、穿透和衰减等现象(图 2)。

反射现象就像光反射一样，电波一到达电离层就被反射回来。

折射现象是电波在电离层里行进当中逐渐改变方向最终返回到地面上。**穿透**现象则是在折射不充分的情况下电波穿过了电离层，再也回不到地面上来了。

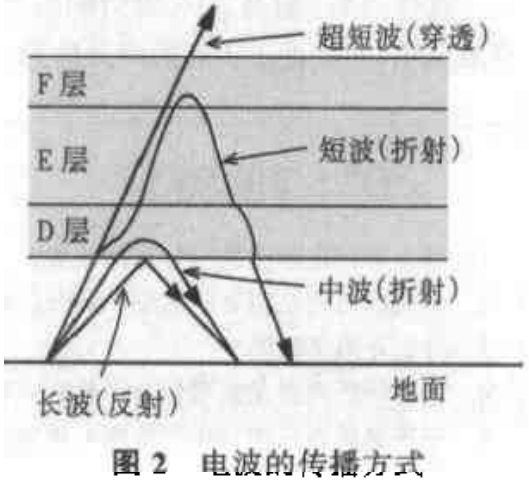


图 2　电波的传播方式

顾名思义，**衰减**现象就是电波的强度逐渐减弱。

电离层有以下的性质：

①波长越长的电波折射越大。

②电子的密度越大电波折射越大。

③电子的密度越大电波衰减越大。

如图 2 所示，长波在 D 层被反射返回地面，中波在 D 层被折射返回地面。短波可以一直到达 F 层、在这里发生折射而返回。超短波的前进路径虽然在 D、E、F 层中受到了影响，但最终还是穿过了电离层，再也回不到地面上来了。



表 1　电波的分类

波段	频率范围
长波	10 ~ 100kHz
中波	100 ~ 1500kHz
中短波	1500 ~ 3000kHz
短波	3 ~ 30MHz
超短波	30 ~ 300MHz

电波的分类

如图 3 所示，电波的两个峰值之间的长度称为**波长**，每秒内峰值的个数称为**频率**，波长与频率之间有如下关系

$$\text{波长} = \frac{\text{光速}}{\text{频率}}$$

波长长与频率低是一回事。表 1 示出了电波类别与波长的关系。

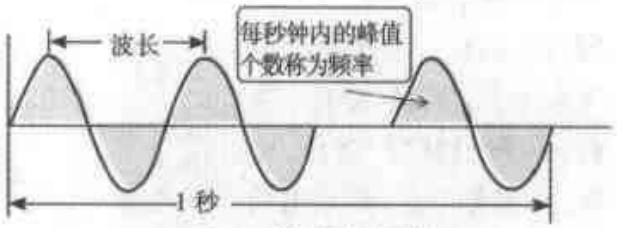


图 3　波长与频率

电波的传播途径

图 4 示出了电波传播的途径。

从发射天线直接到达接收天线的电波称为**直接波**；在地面上反射而到达接收天线的电波称为**地面波**；当发射天线与接收天线之间有山峰时，电波绕过山峰而到达接收天线，这种情形称为**绕射波**；从电离层返回来的电波统称为**电离层反射波**，简称**反射波**。

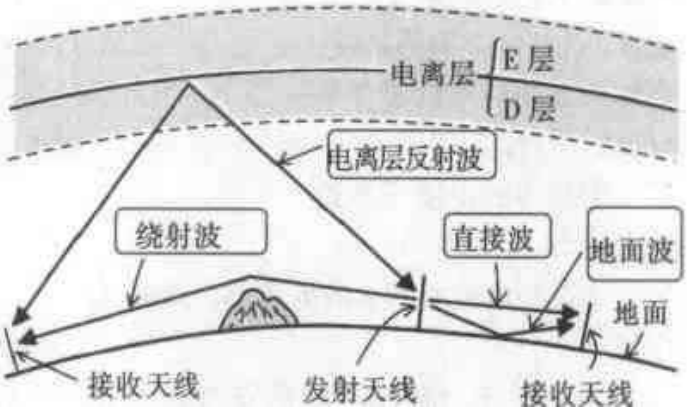


图 4　电波的传播路径

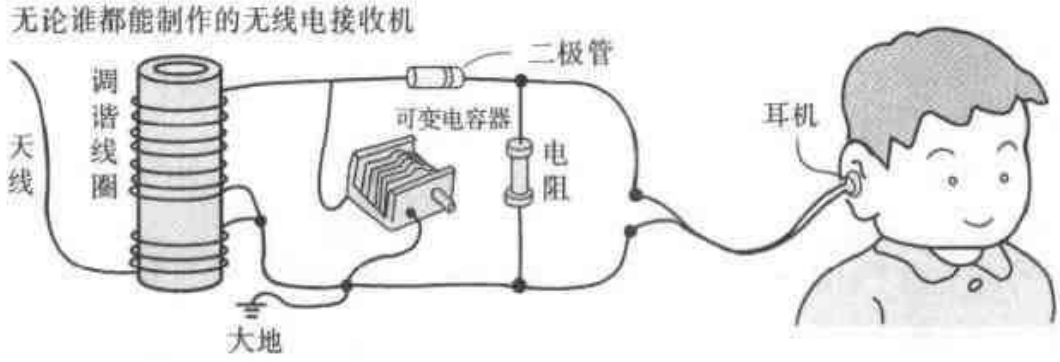
Let's review!

1. 电离层有哪些种类？试举出三种。
2. 长波是从电离层的哪一层反射回来的？
3. 中波的频率范围是多少？
4. 波长与频率之间有什么样的关系？
5. 从发射天线直接到达接收天线的电波叫什么？
6. 在 F 层中最受影响的电波是哪个波段？



4 单管收音机

无论谁都能制作的无线电接收机



最简单的无线电接收机

图 1 所示为最简单的无线电接收机。在我们周围的空间里，有无数电波飞来飞去。调幅(AM)广播台、调频(FM)广播台、电视台、警务电台、移动电话等各式各样的电台都在用分配给它们的频率发射着电波。这些频率都是高频，高频波上面还乘载着音频(低频)信号。

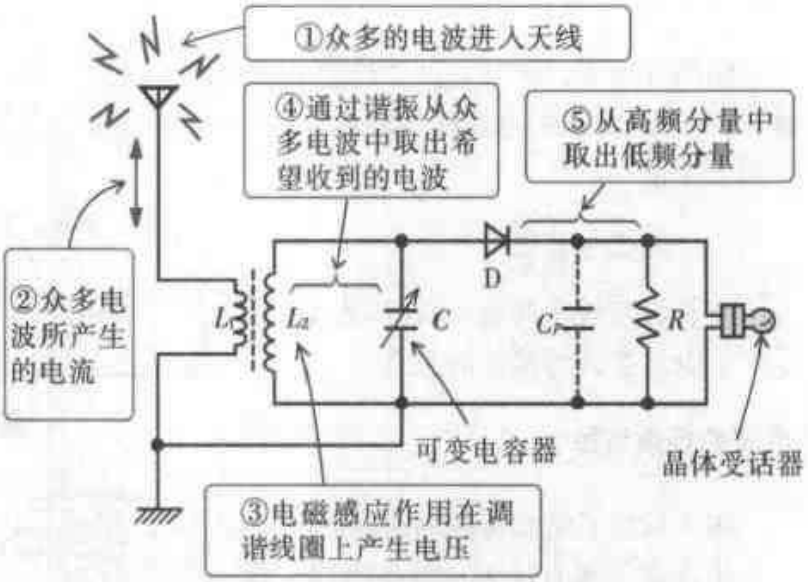


图 1　最简单的无线电接收机

①众多的电波一齐到达天线。

②这些电波所产生的电流都在线圈 L_1 中流动。

③线圈 L_1 和线圈 L_2 是安装成一体的，线圈 L_2 因电磁感应作用而产生感应电压。

④线圈 L_2 感应电压的频率 f 与电容器的电容量 C 有如下关系

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C}}\ [\mathrm{Hz}]$$

频率满足这一关系式时，回路中的电流最大，这种现象称为谐振，谐振时的频率

表 1

广播电台	频率
教育	AM 603kHz
新闻	AM 828kHz
生活	AM 927kHz
经济	AM 1026kHz
文艺	FM 87.6MHz
音乐	FM 94.7MHz
交通	FM 103.9MHz

称为谐振频率。

表 1 列出了北京人民广播电台各专业台的频率。

⑤这些高频电波上面搭载着声音低频，低频分量能够用二极管 D、电容 C_p 和电阻 R 从高频分量中提取出来。高频分量和低频分量的关系示于图 2。图中的电容 C_p 用虚线画出。实际情况是晶体受话器(耳机)有着与电容器相同的结构，接上耳机具有与接上电容 C_p 相同的作用，因而电容 C_p 也可以不接。

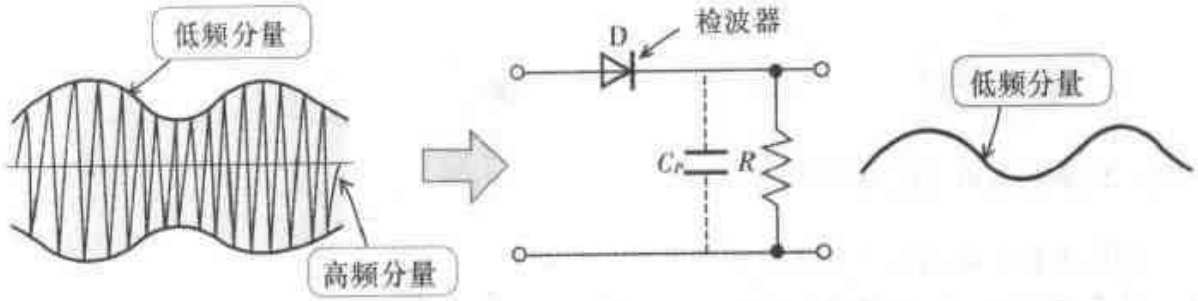


图 2　从高频分量中取出低频分量

二极管的作用是从高频分量中检出低频分量，所以称为检波器。

晶体受话器

图 3 是晶体受话器及其压电工作原理的说明。图 3(a) 是晶体受话器的外形，图 3(b)是其内部构造的示意。

图 3(c) 示出了压电现象的原理。当晶体上加有压力或拉力时，晶体两端就产生出电荷。而当给晶体加上电压时，晶体上就产生伸张力或收缩力，这种现象称为压电现象。当低频信号加在晶体输出端上时，晶体就伸缩而使振动膜振动，我们就听到了声音。

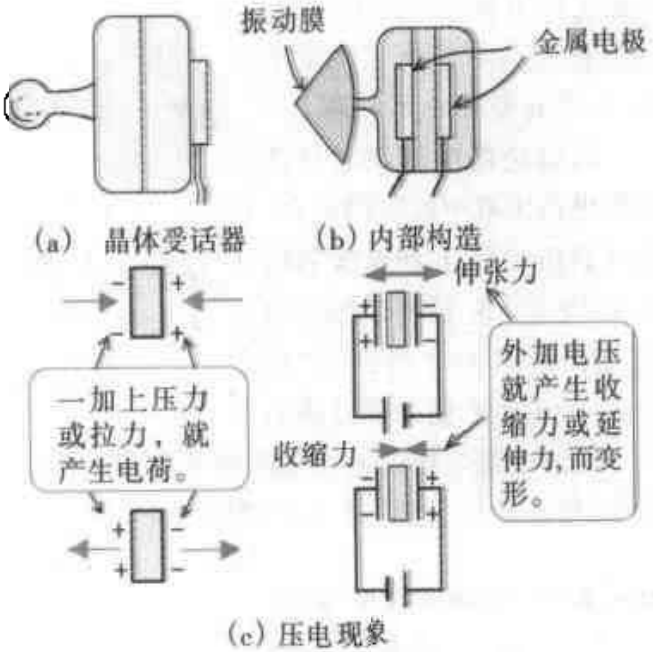


图 3　晶体受话器

Let's review!

1. 图 1 中的线圈 L_2 和电容器 C 起什么作用?
2. 写出求谐振频率的公式。
3. 从高频分量中取出低频分量叫做什么?
4. 为什么图 2 中可以不接电容 C_p?
5. 晶体受话器是根据什么现象而制成的?



5 无线电接收机的原理



用喇叭发声的简单无线电接收机

如果不想在耳朵上挂个耳机而是想用喇叭来收听，那就必须把低频分量的信号放大。放大低频信号的电路叫做**低频放大电路**。

图 1 是最简单的由喇叭发声的无线电接收机的方框图。如该方框图所示，为了使喇叭发声，必须有低频放大电路。

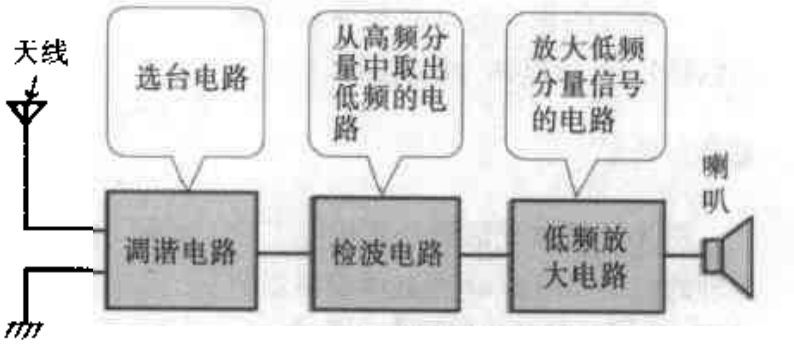


图 1 具有低频放大电路的无线电接收机

调谐电路的作用是从许多频率中选出希望收听的电台。调谐电路由线圈 L 和电容器的电容 C 构成，轻轻调节可变电容 C，谐振频率 $f=1/2\pi\sqrt{LC}$ 随之变化，所希望的频率即可选出。

检波电路是取出包含在高频分量中的低频分量(声音信号)的电路。检波电路由二极管(检波器)D、电容器 C 和电阻 R 构成。

稍微高级一点的无线电接收机

稍微高级一点的意思是比图 1 所示的收音机声音好听一些。要想声音好听一些，就

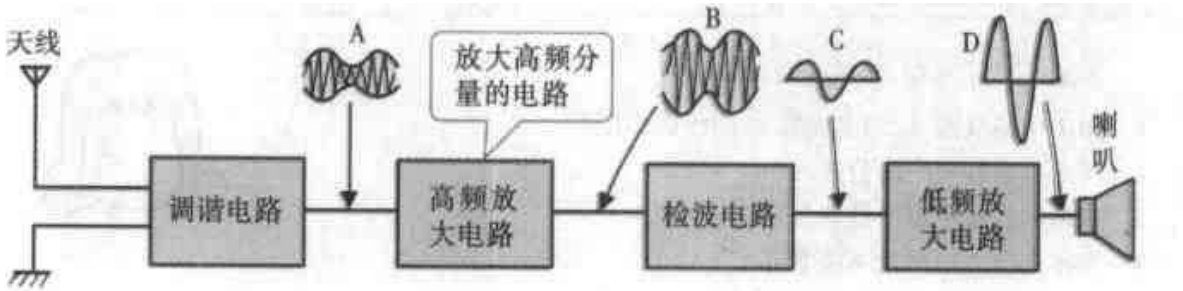


图 2 具有高频放大电路的无线电接收机

得再加一级对高频分量进行放大的高频放大电路。

我们按图 2 的方框图来进行说明。调谐电路选出希望收听的电台，得到高频波形 A。高频放大器对波形 A 加以放大，得到振幅变大了的波形 B。波形 B 经过检波电路后，得到低频分量 C。波形 C 再经过低频放大电路，成为振幅变大了的波形 D。波形 D 使喇叭发声。上述的无线电接收机称为直接放大式接收机。

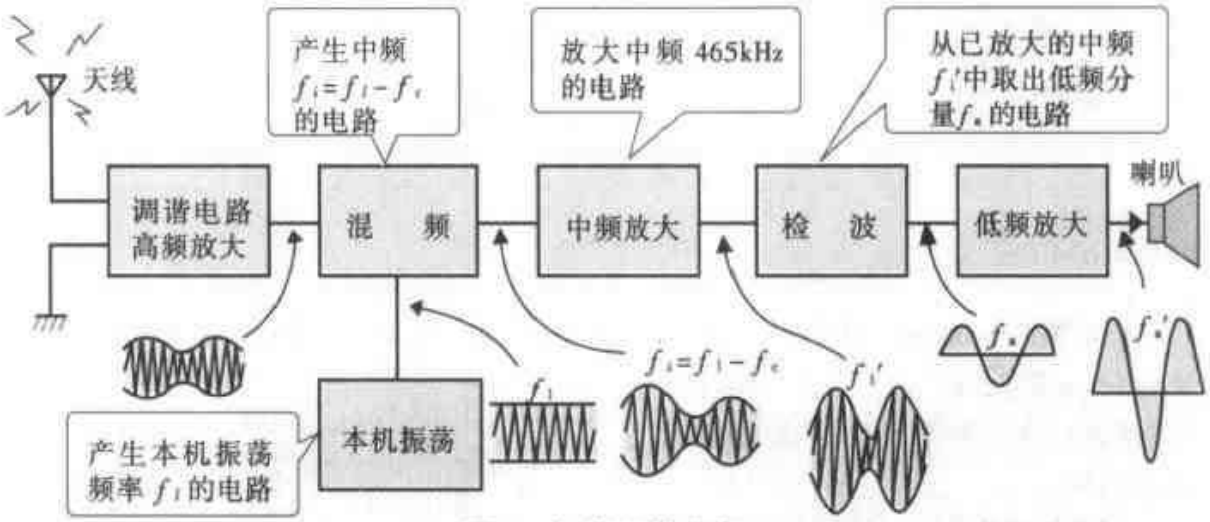


图 3　超外差接收机

超外差接收机

图 3 是超外差接收机的方框图。超外差方式与直接放大方式的不同之处在于超外差方式中多了本机振荡、混频和中频放大三个电路。

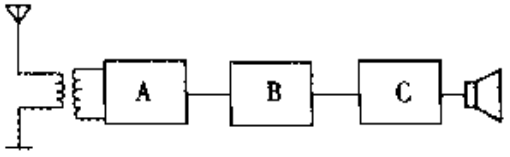
混频电路（亦称第一检波电路）将接收频率 f_c 与本机振荡频率 f_1 加以混合，得到的输出是一个中间频率 $f_i=f_1-f_c$。

这种取出中频（f_1-f_c）的方式称为外差检波，经外差检波放大后再进行一次检波（亦称第二检波）而取出低频信号的方式称为**超外差检波**。此外，中间频率 f_i 也称为拍频。

本机振荡频率 f_1 是随着接收频率 f_c 变化的，而所得到的中间频率 f_i 则固定不变。例如在收听北京人民广播电台经济台时，$f_c=1026\text{kHz}$，设中间频率为 465kHz。则本机振荡频率为 $f_1=f_i+f_c=465+1026=1491\text{kHz}$。这就是说，本机振荡频率通常总是比接收频率 f_c 高 465kHz（中间频率）。

Let's review!

1. 无线电接收机中不用耳机而用喇叭发声时，需要有什么电路？
2. 说出下列无线电接收机方框图中的 A、B、C 各电路的名称。
3. 接收频率为 1134kHz 时，本机振荡频率是多少？其中，中间频率为 465kHz。
4. 将（$f-f_i$）放大后进行检波而取出低频分量的方式叫什么方式？



6 调频接收机



FM 与 AM 的区别

F 是英语 Frequency 的词头，意为频率，A 是 Amplitude 的词头，意为振幅；M 是 Modulation 的词头，意为调制。AM 称为振幅调制，简称调幅；FM 称为频率调制，简称调频。

图 1 用波形图示出了 AM 与 FM 的区别。图(a)称为**载波**，我们把它比喻为送货车。图(b)是信号波，它是由声音或音乐变换成的电信号，可以比喻为待运的货物。

图(c)所示波形是由图(a)和图(b)合起来的一种形态，相当于装上了货物的卡车。图(c)所示波形称为**调幅波**，调幅波的振幅大小按照信号波的大小变化。

图(d)所示波形称为**调频波**，调频波的频率按照信号波的大小变化。也就是说，信号波在正方向的振幅越大，调频波的频率越高(波形稠密)，信号波在负方向的振幅越大，调频波的频率越低(波形稀疏)。

AM 与 FM 的区别是由调制方法不同造成的。

FM 波如图(d)所示，频率是变化的，而振幅不变。振幅不变这一特点可以用于消除噪声的影响。

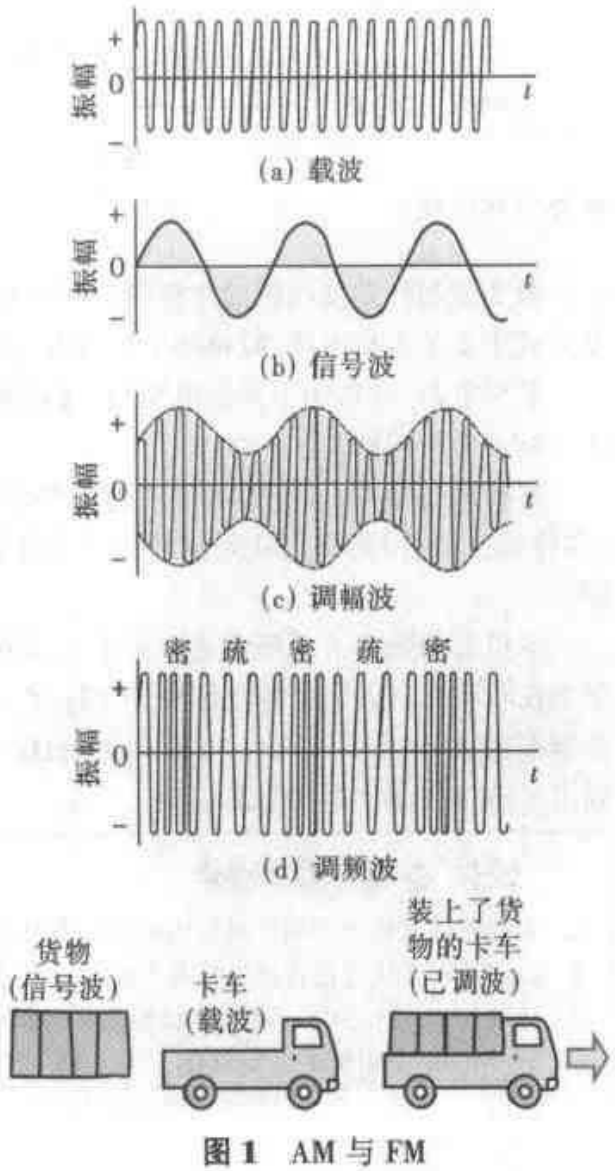


图 1　AM 与 FM

FM 接收机的结构

图 2 所示是 FM 接收机结构的实例。天线接收到的电波是载波频率为 76～90MHz 的高频信号，经高频放大后进入混频器，混频器产生出中间频率，这里的中间频率是 10.7MHz。中频信号通过鉴频器后，输出与 FM 波频率变化成比例的信号波。因而鉴频器也被称为 FM 检波器。

去加重电路：调频广播中，信号波的频率越高，噪声越明显。因此，发送的时候先对信号波中的高频分量予以加强，然后再去对载波进行调制，称之为**预加重**。在接收端，检波以后再把发送端所加强的部分减弱，称之为**去加重**。

AFC 电路：也称为自动频率控制电路，是稳定本机振荡电路的频率的电路。

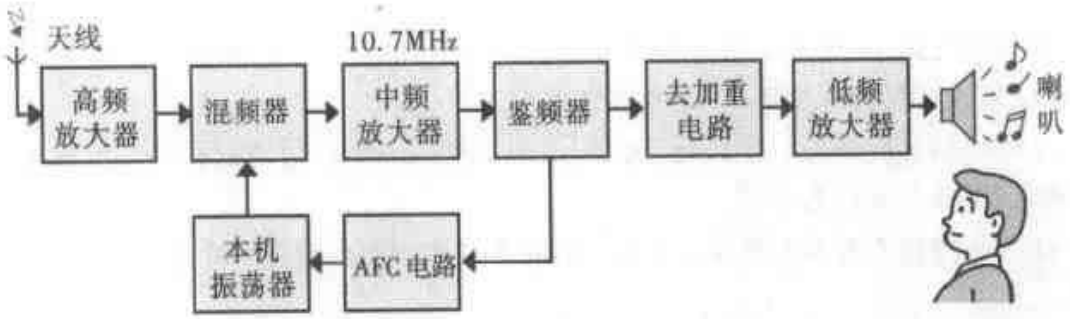


图 2　FMa 无线电接收机结构

限幅器的作用

图 3 是限幅器作用的示意图。图 2 中没有画出限幅器，它在电路中位于中频放大器与鉴频器之间。

图中示出了经限幅器限幅后，噪声被除去、振幅变得整齐一致的情形。正是由于这一作用，使调频接收机能获得噪声小的良好效果。

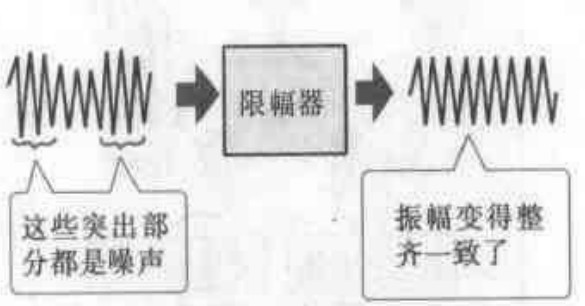
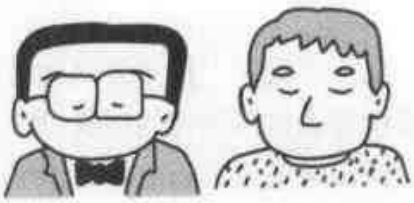


图 3　限幅器的作用

Let's review!

1. AM 调制的是什么参数?
2. FM 调制的是什么参数?
3. FM 无线电接收机的中间频率是多少兆赫?
4. AFC 电路的作用是什么?
5. 限幅电路起什么作用?



7 立体声的使用方法



单声与立体声

平常我们说到“立体声”,既可能指立体音响,也可能指立体声设备。说“我去买立体声”是指设备,说“我在听立体声”是指立体音响。

与立体声相对应的另一个词是“单声”,那是指用一个话筒录制和用一台放音设备(一只喇叭)重放的录放音方式。

立体声是模仿人有两只耳朵,用两个话筒录音和用两台设备(两只喇叭)重放的录放音方式。

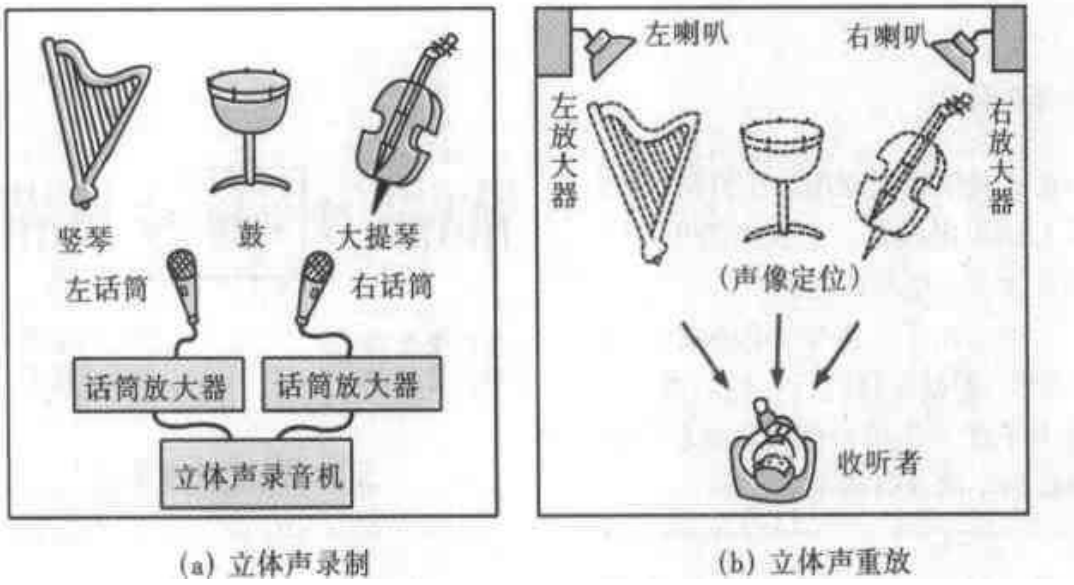


图 1 立体声的录制和重放

图 1 示出了立体声录制和重放情况。图(a)是录制情形,舞台前面配置了左右两个对演奏现场进行录音的话筒。图(b)是重放情形,左喇叭重放左话筒的录音,右喇叭重放右话筒的录音,这样,收听者就能听到有立体感的乐器声,竖琴声来自左边,大提琴声来自右边,鼓声在中间。每个乐器是否恰好就在原来位置上的这种感觉称为音像定位。音

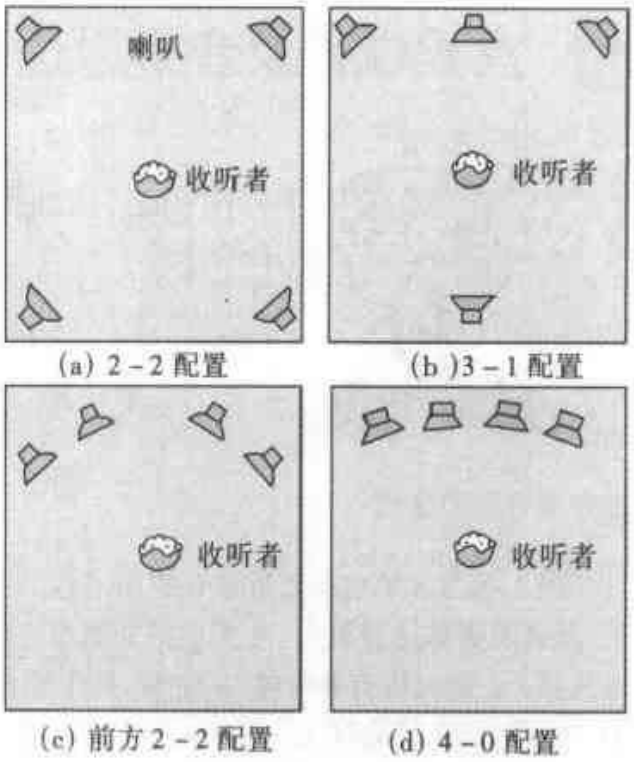
像定位现象是由于喇叭发出的声波到达收听者左右耳的距离不同而产生的。

喇叭的配置

图 2 示出了 4 通道立体声喇叭的配置。

基本型如图(a)所示，左右前后四角配置了 4 个喇叭，这种配置称为 2-2 配置。也可以考虑采用图(b)、(c)、(d)所示的配置。

由于房间的具体情况而不能在四角配置时，可以通过试验采用图(c)所示的前方 2-2 配置或图(b)所示的 3-1 配置等。



(a) 2－2 配置　(b)3－1 配置

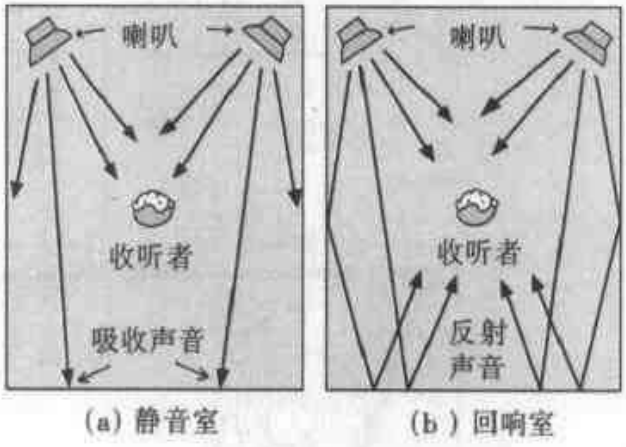
(c) 前方 2－2 配置　(d) 4－0 配置

图 2　喇叭的配置

静音室和回响室

评价听音室的重要因素是房间是寂静的还是回响的，但并不能说二者中哪一个好。

如图 3 所示。在静音室中，收听者听到的主要是喇叭发出声音中指向收听者的那一部分，如果系统工作良好，能获得良好的重现音。而回响室则由于有反射，反射的延时作用产生交混回响，因而具有声音丰富和音域广的特点。



(a) 静音室　(b) 回响室

图 3

Let's review!

1. 一个话筒录音，一个喇叭重放的方式叫什么？
2. 两个话筒录音，两个喇叭重放的方式叫什么？
3. 4 通道立体声情况下喇叭配置的基本型是怎样的？
4. 4 通道立体声情况下有时无法在听音室的 4 角配置喇叭，请你说说有什么办法。
5. 听音室评价中的两个重要因素是什么？

8 盒式磁带录音机原理

最新面世、画龙点睛



磁带录音机的结构

图 1 示出常用盒式磁带录音机的结构。它有三个磁头，图中从左向右分别是重放磁头、录音磁头和抹音磁头。主要电路如图中方框所示，有重放放大器、录音放大器和高频振荡器。走带机构有卷带轴、供带轴、磁带导杆、压送轮、带辊。盒盖下面还有小型马达、干电池等，图中没有画出。

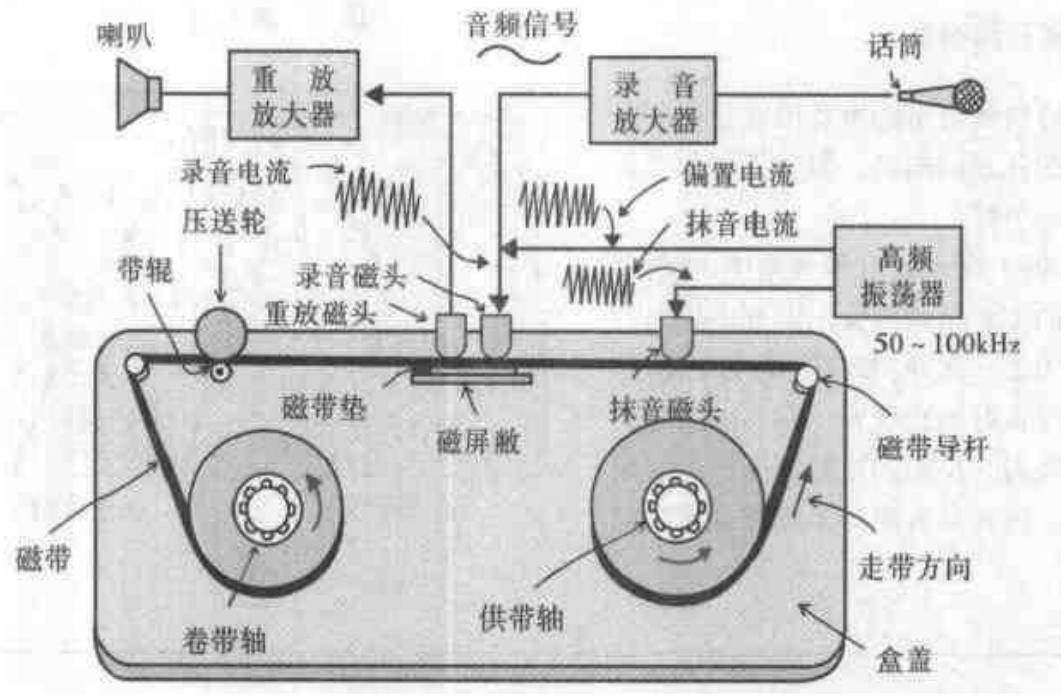


图 1　盒式磁带录音机

进入话筒的声音变成电信号，放大后成为音频信号，将这一音频信号加在高频振荡器所产生的偏置电流上，最后由录音磁头录制到磁带上。重放磁头读取磁带上的信号，变成电信号，这一信号再经重放放大器放大，最后由喇叭发出声波。

所谓重放就是把录制在磁带上的声音或录像机中的图像从磁带上读出并重新放出来。抹音磁头的任务是抹去已录制在磁带上的各种信息，它是由高频振荡器所产生的抹

音电流来实现的。

磁　带

图 2 示出磁带的结构。磁粉涂敷在一条聚脂薄膜上，这个薄膜称为带基。带基很薄，厚度有 6μm、8μm、12μm 三种。带基上所涂敷的强磁性氧化铁材料厚度有 3μm、4μm、6μm 等几种。

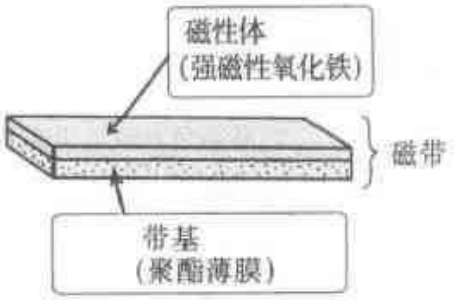


图 2　磁带

录音原理

录音磁头的构造如图 3 所示，信号电流流过磁头线圈时，录音磁头前端的缝隙处产生与信号电流大小及频率相应的磁场，于是磁头下面行走着的磁带被磁化，形成如图所示的一连串小磁极 NS、SN、……。

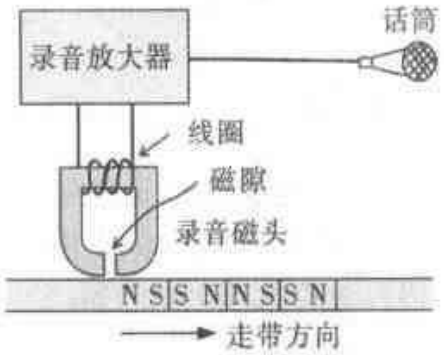


图 3　录音原理

重放与抹音原理

如图 4 所示，磁带在重放磁头下面以与录音时相同的速度行走，由于电磁感应的作用，重放磁头线圈中产生与录音时相同的音频信号，于是就实现了声音重放。

抹音就是把记录在磁带上的信息全部抹掉。要抹去信息，只需给抹音磁头加一个高频电流，使磁带交流磁化就行了。

这样一来，磁带的录音、重放和抹音都能够简单完成。

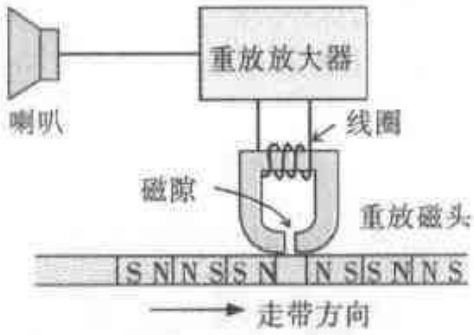


图 4　重放原理

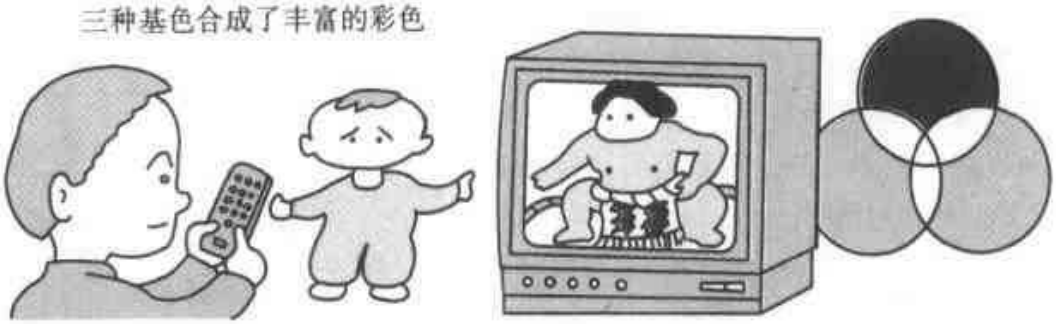
Let's review!

1. 说出磁带录音机中所用的三种磁头的名称。
2. 录音时磁头线圈中的信号电流是什么放大器供给的？
3. 将已录好的声音从磁带上取出来并生成原来的声音的过程叫什么？
4. 磁带的带基是用什么材料构成的？
5. 抹去记录在磁带上的信息的过程叫什么？
6. 抹音时，抹音磁头线圈中流过什么样的电流？



9 三基色

三种基色合成了丰富的彩色



颜色与波长

人眼能感受光，而光究竟是什么呢？实际上光也是一种电磁波。如果用波长来表示的话，380nm 到 780nm 范围内的电磁波能够作为光被人眼感受到。nm（纳米）是个极小的长度单位，$1nm = 10^{-9}m$。

图 1 示出了颜色与波长的关系。波长小于 380nm 的区域位于紫色外侧，称为紫外线，紫外线是看不见的。波长大于 780nm 的区域位于红色外侧，称为红外线，红外线也是看不见的。其余部分按波长顺序分别是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫，可以排成一条彩带。

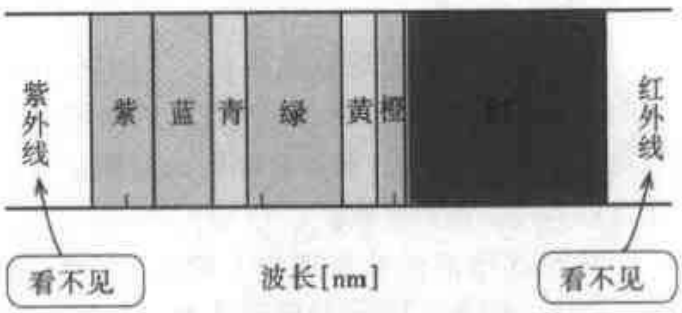


图 1　彩色的波长

三基色

颜色是多种多样的，所有的颜色都可以用红、绿、蓝三种颜色来合成，这三种颜色称为三基色。

图 2 是三基色及它们相互混合时所得到的颜色。彩色电视中就是用三基色来重现各种颜色的。青色是绿光与蓝光混合的产物（相加混色），品红色是红与蓝的相加混合物，红与绿相加混合得黄色。当红、绿、蓝以相同的强度相加混合时，得到的是无色的白光。

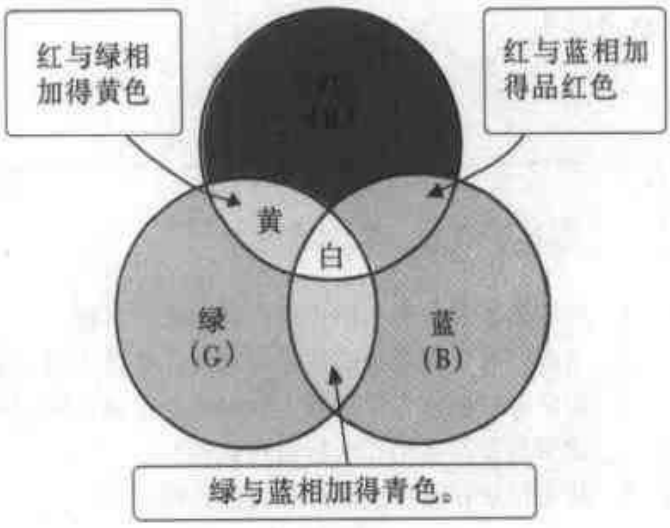


图 2　三基色（红、绿、蓝）

光的三基色分解

彩色电视传送颜色的机制是把来自被摄体的光分解为红、绿、蓝三种基色光，分别由三个摄像管变成电信号加以传送。

图 3 所示为分色镜配置情况，分色镜由蓝色反射镜和红色反射镜组成。

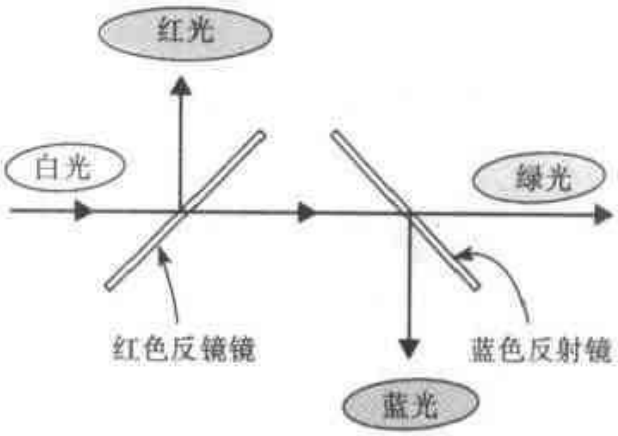


图 3　分色镜

如图所示，白色光从左侧射入，首先由红色反射镜把其中的红色光成分反射到上方去，然后再由蓝色反射镜再把其中的蓝色光成分反射到下方，最后剩下的就是绿色光向着右侧射出。这就是光的三基色分解。

彩色摄像机原理

图 4 示出了彩色摄像机的原理。被摄体的光经透镜后被分色镜分解为三基色光，红光经红色反射镜反射后进入红摄像管，绿色穿过两层分色镜进入绿摄像管，蓝反射镜把蓝光反射给蓝摄像管。

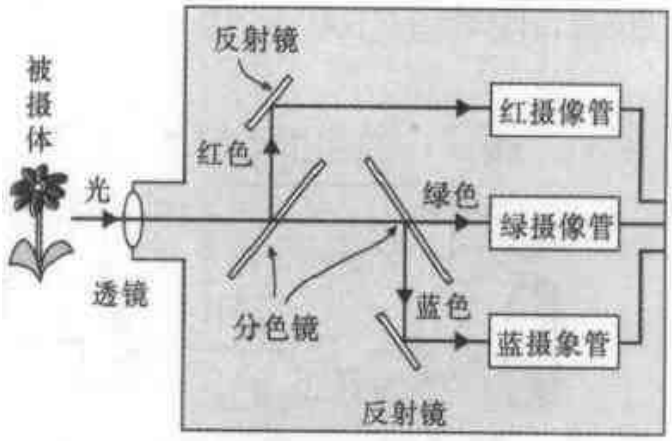
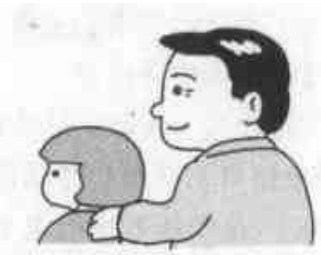


图 4　彩色摄像机

红、绿、蓝三个摄像管的输出送到一个叫做矩阵电路的电子电路中去，在那里形成彩色和亮度两个独立信号作为发送端信号。

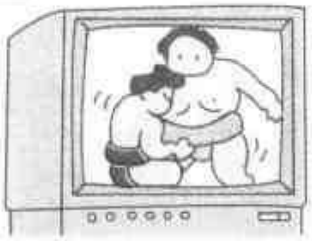
以上所述为彩色电视最基本的原理。中国的彩色电视采用的是 PAL 方式的系统。彩色电视机可以收看黑白电视，黑白电视机也可以看彩色电视台的节目，当然看到的都是黑白图像。这种特性称为兼容性。

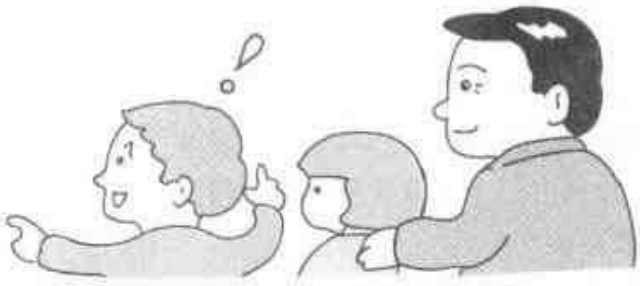
Let's review!



1. 请指出人能看见的光的波长范围。
2. 品红色是由什么颜色混合成的？
3. 说出什么是三基色。
4. 白色是由什么颜色混合成的？
5. 用什么来把被摄体的光分解成三基色？
6. 彩色摄像机的主要构成元件中除了分色镜以外，还有一种镜子叫什么？

10 彩色电视





彩色电视广播的构成

图 1 示出了彩色电视发送端(左侧)和接收端(右侧)的构成。发送端由电视摄像机对被摄体进行摄像。摄像机由镜头、分色棱镜和红绿蓝三个摄像管构成。被摄体发出的光首先被镜头聚焦,经过一个叫做分色棱镜的特殊棱镜分解为三基色。分解出的三种颜色分量由摄像管变换成红、绿、蓝电信号。

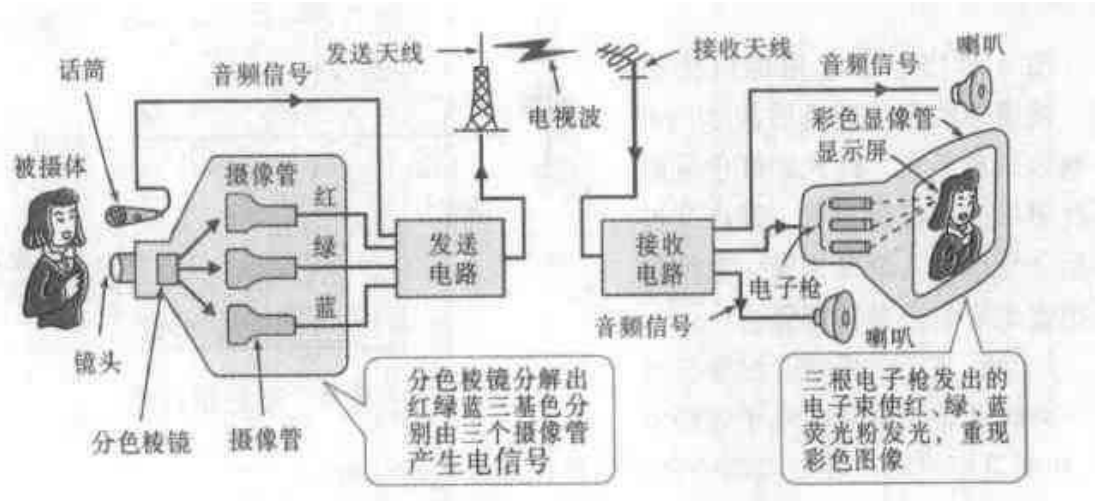


图 1　彩色电视广播的构成

这三个电信号与话筒传来的音频信号同时送到发送电路，由发送天线作为电视波发送出去。

由于半导体技术的进步，摄像管现在大都采用 CCD。CCD 具有体积小、重量轻、寿命长及调整点少等优点。

在接收端，接收天线所收到的电视波在接收电路中被分为**音频信号**和三基色电信号(**图像信号**)，音频信号送给喇叭，由喇叭发出声波。图像信号加到彩色显像管的三个电子枪上，电子枪发出的电子束使红、绿、蓝三种荧光粉发光，重现出彩色图像。

显示屏上涂敷着红、绿、蓝三色荧光粉，荧光粉的位置布局符合一定的规律，使红、绿、蓝电子枪的电子束只能打到对应的红、绿、蓝荧光粉上。

彩色显像管的结构

图 2(a) 示出了彩色显像管的结构. 显像管的管颈部分装有三根电子枪和一套偏转线圈，管面上装配着荫罩和荧光面。三根电子枪发射轰击红、绿、蓝荧光粉的电子束（电子流）。

偏转线圈担负着让电子束按水平和垂直方向摆动的任务，关于这一点下一节还要详细叙述。

荫罩安装在距离荧光面约 1cm 的内侧。

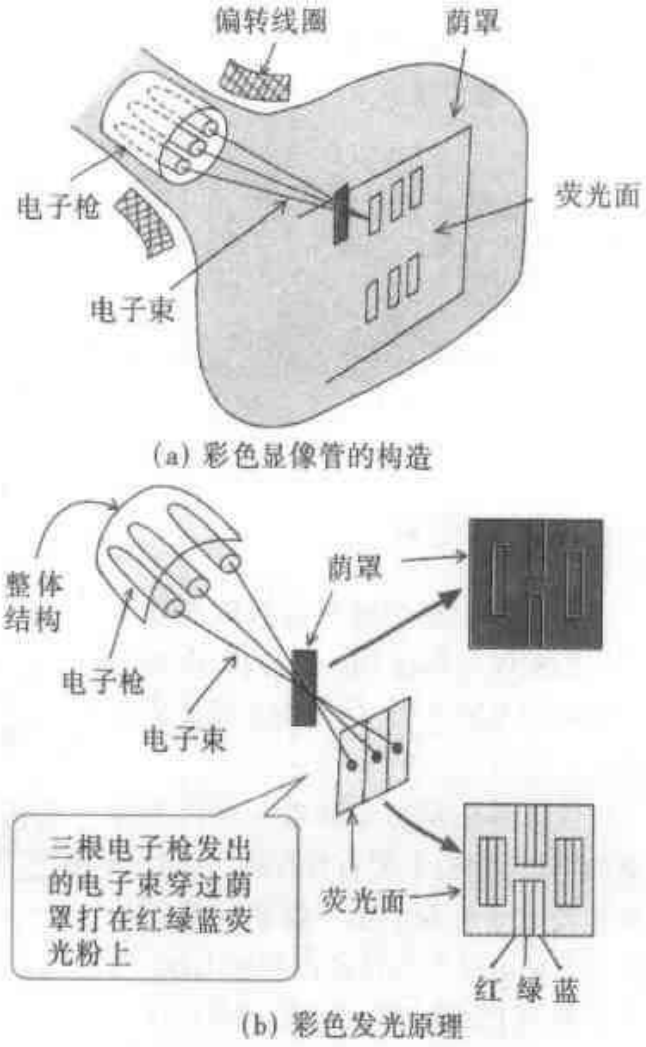


图 2　彩色显像管

彩色发光原理

图 2(b)示出彩色发光原理。

红、绿、蓝三根电子枪是一个并排安装的整体，只有三个阴极是各自独立的。荫罩的结构是一块钢板上布满了间隔约 0.6mm，孔径为 0.2×0.6mm^2 的细长孔洞。荧光面是一组一组由红、绿、蓝荧光粉组成的矩形荧光体，每一组都上下错开一点距离。

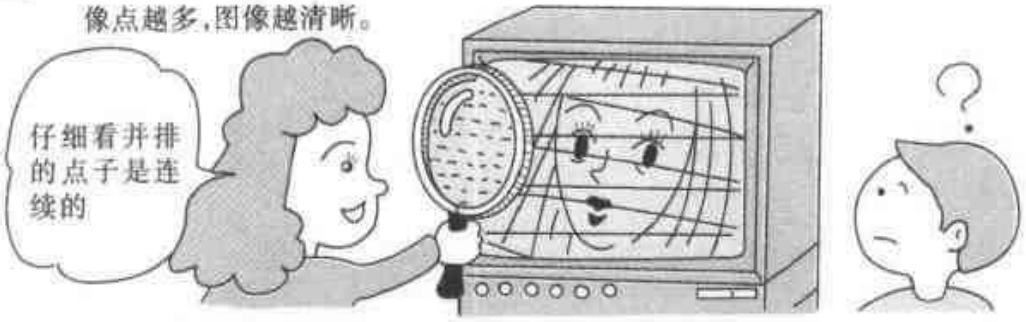
红、绿、蓝三根电子枪发出三束电子束，电子束穿过荫罩打在红、绿、蓝荧光粉上使之发光。如果每个电子枪发出的电子束强度相同，所看到的颜色就是白色。

此外，3 束电子束应该在荫罩处集中于一点，为此就需要进行调整，这称之为**会聚**。

Let's review!

1. 彩色电视摄像管的电子枪是 3 根相互独立的还是一体化的？
2. 彩色电视机从原理上来说是由几根电子枪构成的？
3. 彩色显像管的电子枪发射的是什么？
4. 荧光体的形状是什么样的？
5. 什么叫会聚？

11 隔行扫描原理



彩色显像管的结构

图 1 是根据讲解扫描原理的需要画出的显像管结构，电子枪发射出的电子束向荧光屏飞去，撞击荧光膜使之发光。

荧光膜的前方安装着一块称为荫罩的钢板，钢板上密布着孔眼。此外还有迫使电子束左右上下摆动的偏转线圈及迫使电子束加速的内部导电膜。内部导电膜上加有 20～30kV 的高电压。

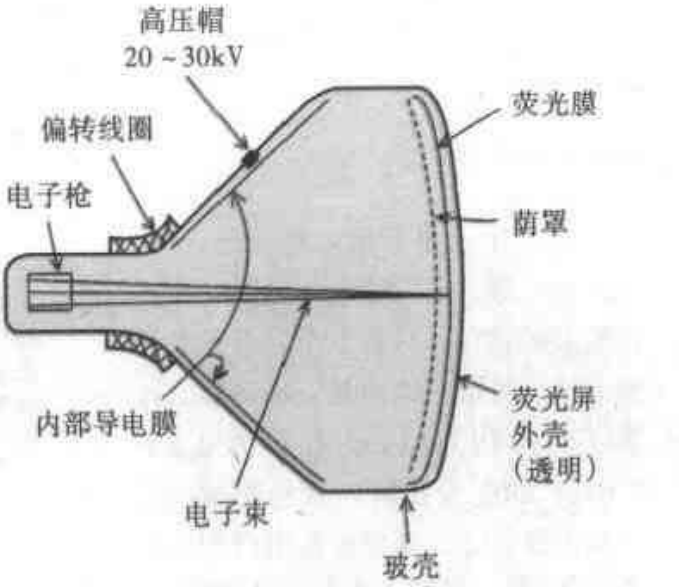


图 1　彩电显像管的结构

电子束前进方向的改变

电子束应该能打到整个荧光面的每个点上，为此必须改变电子束运动的方向。图 2 示出了改变电子束运动方向的原理。

设电子从左向右飞去，由于电子运动方向与电流方向相反，所以电流是从右向左流动的。另一方面，磁场方向是从上向下的，根据弗莱明左手法则，电子受到的电磁力作用指向下方。

电子本来是从左向右运动的，如果指向下方的作用力发生作用，电子的轨道就会像图中所示那样弯曲，这样电子运动的方向就改变了。这种电子束受磁

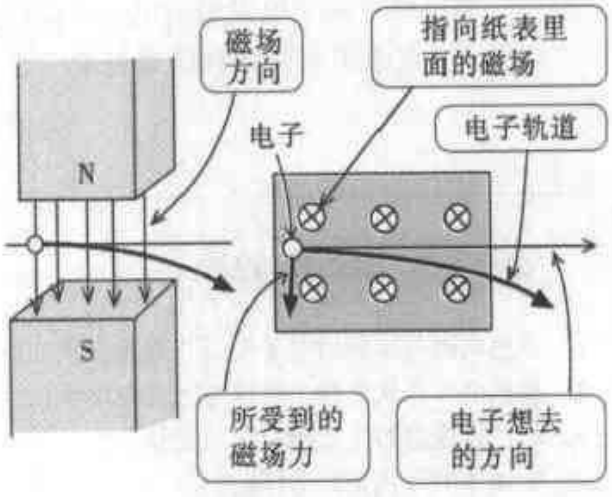


图 2　电子移动方向的改变

场作用而改变方向的现象称为**电磁偏转**。

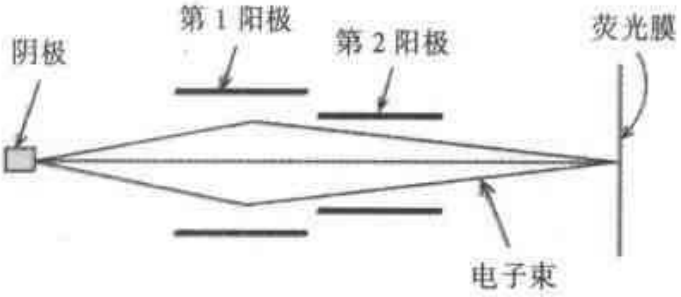


图 3　电子束的形成

电子束的形成

下面我们来看电子束是怎样形成的。图 3 中，当阴极被加热时，就有热电子从阴极释放出来。热电子受第一阳极（上面加有数百伏的电压）和第二阳极（一千几百伏电压）的共同吸引，加速向前方飞去。第一阳极和第二阳极上所加电压不同，形成的电力线对电子束产生聚焦和加速作用。这种由电力线产生聚焦作用的机构称为电子透镜。

隔行扫描原理

让电子束左右摆动称为**水平偏转**，上下摆动称为**垂直偏转**。水平偏转和垂直偏转结合起来就能使电子束在整个显示屏上偏转。

图 4 是隔行扫描的结构，由奇数场扫描和偶数场扫描的结合实现隔行扫描。

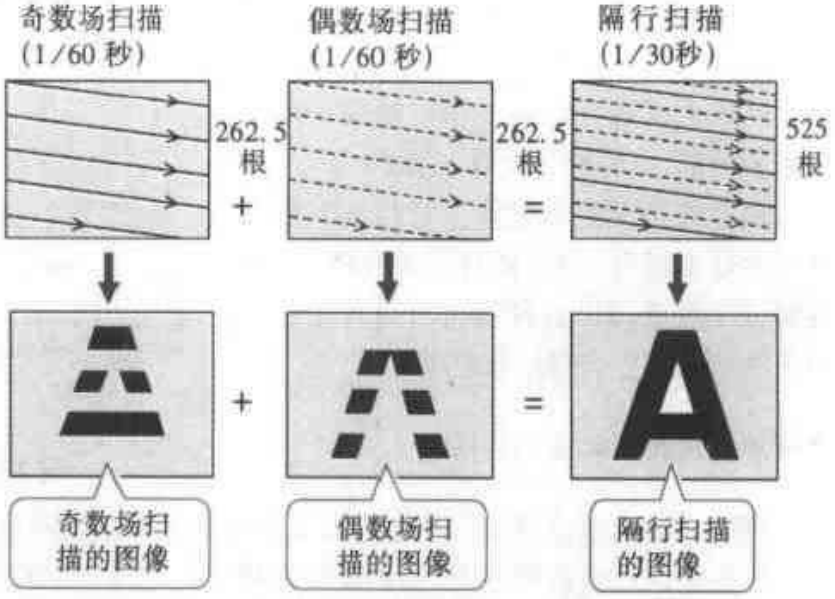


图 4　隔行扫描的结构

奇数场扫描得到的图像与偶数场扫描得到的图像加起来，就能得到如图所示的 A 字。这种扫描方式称为**隔行扫描方式**。

奇数场和偶数场的扫描线都是 262.5 根，因而隔行扫描的扫描线就是 525 根，两场扫描的时间共是 1/30 秒。

Let's review!

1. 彩色显像管由哪些部分组成？
2. 彩色显像管中是用什么样的方法改变电子束的运动方向的？
3. 为了形成电子束，第一阳极和第二阳极应该加正电压还是负电压？其值大约是多少？
4. 要让电子束摆动达到整个显示屏，应该用什么样的偏转？
5. 隔行扫描的总扫描线数是多少？

12 天线与高频头



八木－宇田天线

图 1 是八木－宇田天线的示意图及其说明。

这种天线由导向器、辐射器和反射器三部分构成，有时称为天线三要素。

辐射器是天线的主体，它与汽车前照灯中的灯泡相当，导向器对应于透镜，反射器对应于反光镜。这种结构与只有辐射器的天线相比能更有效地接收电波。

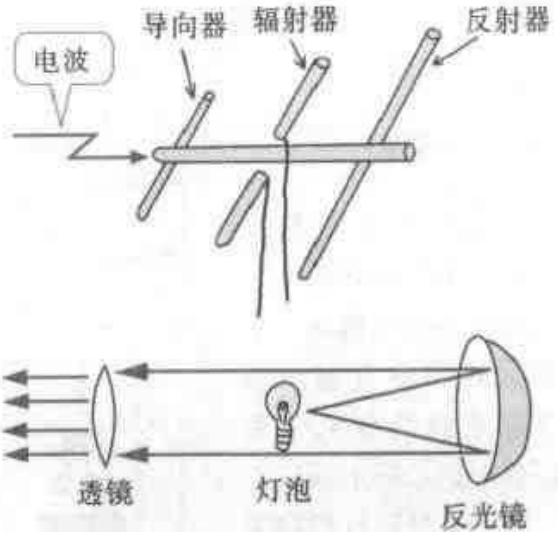


图 1　八木－宇田天线

选择想要接收的电波的方法

到达天线的电波很多。从这些电波中选出想要接收的电波的电路称为**调谐器**。

图 2 是调谐器的构造图。调谐器由高频放大电路和变频电路构成。高频放大电路是对天线所收到的微弱信号进行放大的电路，变频电路是将高频信号变换成中频信号的电路。变频电路由本机振荡电路和混频电路组成。

设高频信号频率为 f，本机振荡信号频率为 f'，中频信号频率为 f''，则它们之间有如下关系

$$f'' = f' - f$$

中频信号从调谐器输出后再经过放大就可得到图像或声音信号。

也就是说，调谐器的任务就是放大接收到的信号和把它变换为中频信号。

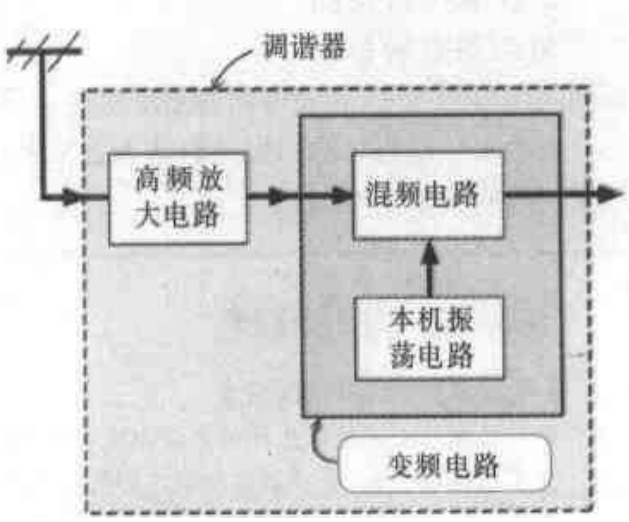


图 2　调谐器的构造

调谐器的构成

图 3 是全频道接收机调谐器的构成图，也就是说，它是一个能接收 VHF 和 UHF 波段全部频率的调谐器。

如图所示，VHF 波段是单独进行接收的，而进行 UHF 接收时 VHF 调谐器起着中频放大器的作用。

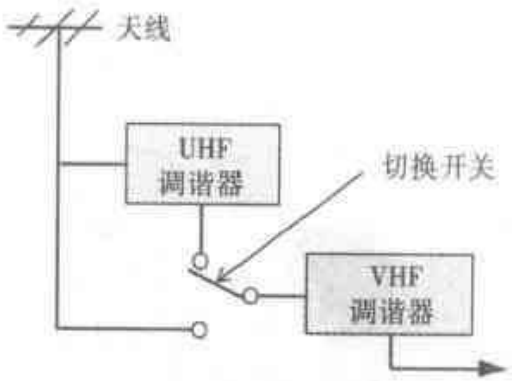


图 3　调谐器的构造

电子式调谐器

图 4 是电子式调谐器的基本电路。频道选择由改变调谐频率的方法来进行。

调谐频率 f 决定于图中的 L 和 C，可用下式表示

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\ [\mathrm{Hz}]$$

改变偏置电压的大小，使变容二极管的电容发生变化，本地振荡频率随之变化。

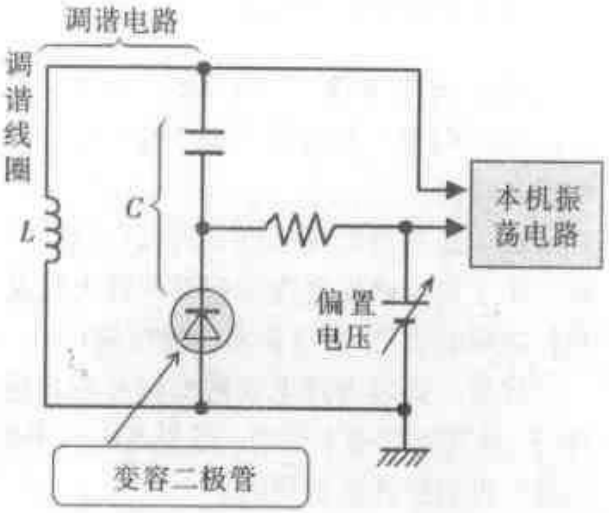


图 4　电子调谐器

遥控器

遥控器是从远离电视机的地方选择接收电台的装置。如图 5 所示，遥控器把携带着选台信息的红外线或者超声波送到电视机的遥控信号接收窗口，从而实现频道切换。现在市场上已经有了统一规格的遥控器。



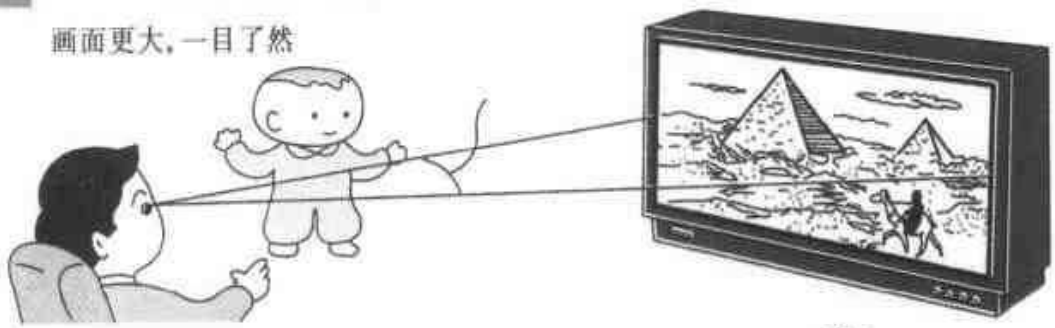
图 5　遥控器

Let's review!

1. 八木－宇田天线的优点是什么？
2. 设想要接收的电波的频率为 f_1，本机振荡频率为 f_2，中间频率为 f_3 可以用什么公式来表示？
3. 全频道接收机中，当接收 UHF 时 VHF 调谐器起什么作用？
4. 电子式调谐器中，电容器的电容是由什么决定的？
5. 用遥控器选台时，到达电视接收机接收窗口的是什么信号？

13 高清晰度电视

画面更大，一目了然



高清晰度电视与现行电视

高清晰度电视（high definition television，HDTV）是一种分辨率高于现行电视的电视方式。

表 1 是高清晰度电视与现行电视的比较。由于高清晰度电视的扫描线数大约是现行电视的 2 倍，所以画面质量特别好。

此外，高清晰度电视画面的宽高比是 16:9，从视觉效果上来说，是宽高比为 4:3 的现行电视所无法达到的。

下面我们来比较一下像元数目。

设现行电视的有效扫描线数为 490 线，则像元数目为

$$490 \times 490 \times \frac{4}{3} = 320000 \text{ 个}$$

设高清晰度电视的有效扫描线数为 1000 线，则其像元数为

$$1000 \times 1000 \times \frac{16}{9} = 1780000 \text{ 个}$$

是现行电视的 5.5 倍。

图 1 是最佳视听距离的比较。在现行电视的情况下，最佳视听位置是画面高度的 7 倍。而在高清晰度电视的情况下，最佳视听位置是画面高度的 3 倍。此外，在最佳视听位置上观看画面，其水平张角是 30°，是现行电视的 3 倍，临场感大大增强。

表 1

	高清晰度电视	现行 NTSC 制电视
扫描线数	1125	525
画面宽高比	16:9	4:3
隔行比	2:1	2:1
场频	60Hz	59.41Hz
图像信号带宽	20MHz	4.2MHz
声音信号调制方式	PCM4 通道	FM2 通道
最佳视听距离	H* ×3	H* ×7

* 表中 H 为画面高度。

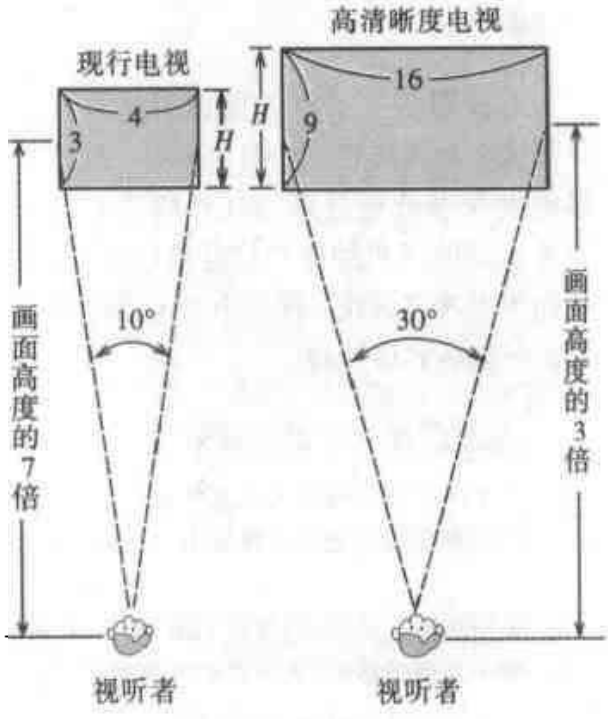


图 1　最佳视听位置

声音效果的比较

图 2 是高清晰度的声音系统。现行 AV 的 NTSC 制式的声音系统是 2 通道 FM(调频) 方式，而高清晰度电视是 4 通道 PCM(脉冲编码调制)方式。如图所示，它共有 4 个声音通道。前方的声音来自正前方、左前方和右前方三个通道，左后方和右后方的声音共用一个通道　这样一来，高清晰度电视不但画面大，而且声音的信息量也增加了，临场感就更强了。

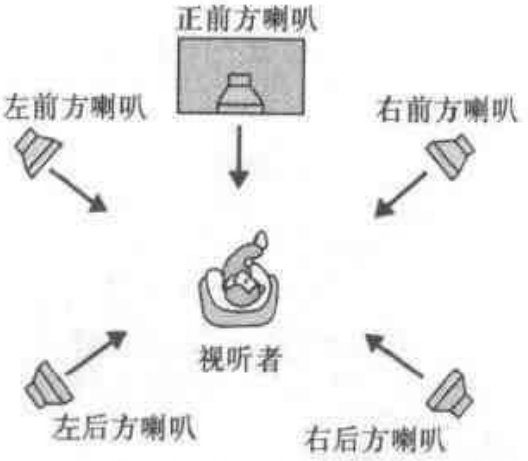


图 2　高清晰度电视的声音系统

高清晰度电视广播的构成

图 3 是高清晰度电视广播的基本构成。在发送端，高清晰度电视图像信号和声音信号先由编码器变换成数字信号，再经过 FM 调制器变成射频信号，然后送给发射机，发射机将射频信号发送给广播卫星(BS)。在接收端，BS 天线接收广播卫星送下来的电波，随后数字信号经解码器变成模拟信号，于是就得到了高清晰度电视图像。

高清晰度电视具有高画质、大画面、高音质和感染力强等优点，除了电视广播以外，还可用于电视、电影和美术馆等。

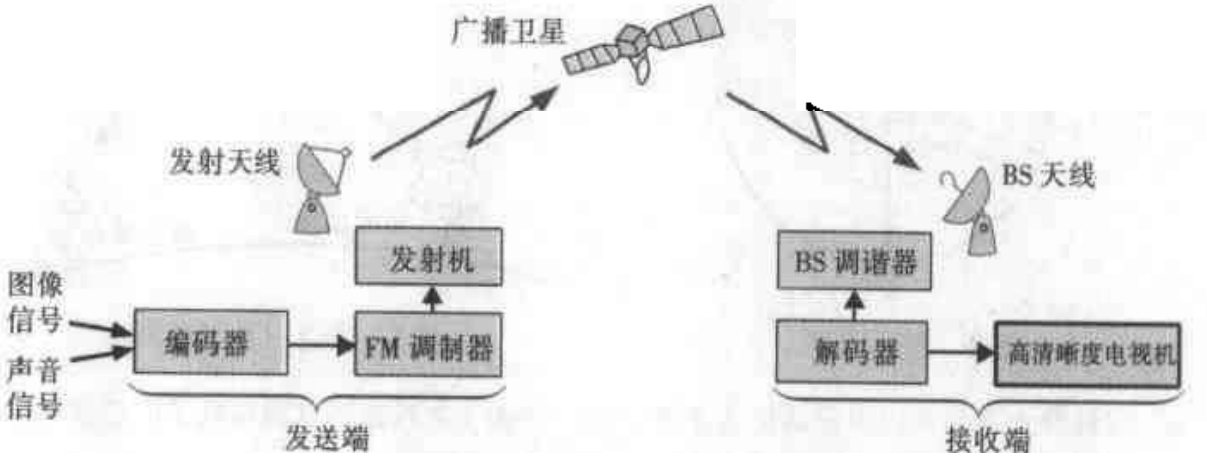
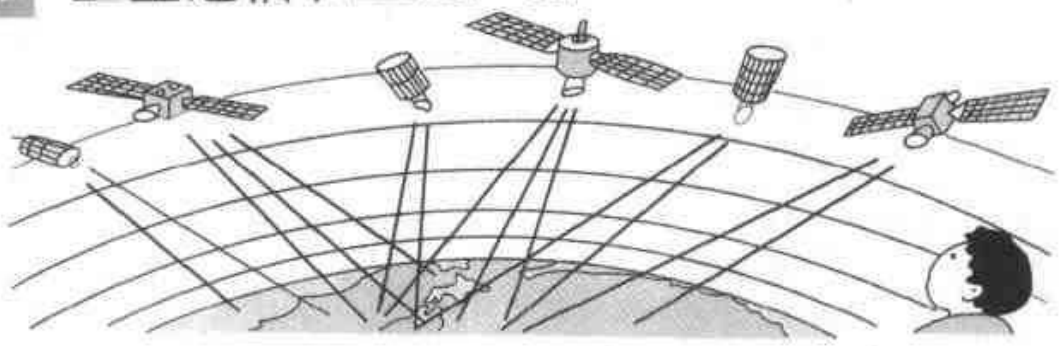


图 3　高清晰度广播电视的基本构成

Let's review!

1. 高清晰度电视的宽高比是多少?
2. 高清晰度电视的像元数是 NTSC 制式的几倍?
3. 高清晰度电视情况下，最佳视听位置到画面的距离是画面高度的多少倍?
4. 高清晰度电视的声音系统最好是几个通道?
5. 高清晰度电视能获得洋溢着临场感的广播效果。请说明其理由。
6. 高清晰度电视广播系统中的编码器和解码器有何作用?

14 卫星通信和卫星广播



卫星通信的构成

利用发射到地球上空的人造卫星进行通信就叫做卫星通信，用于进行通信的卫星叫做通信卫星。

当所发射卫星的轨道位于赤道上空大约35800km时，卫星以相同的周期与地球自转同步旋转，从地球上看，卫星就像是静止不动一样，因而称为静止卫星。

图1是赤道上空有三颗静止卫星的情形。这样配置的静止卫星能实现世界上任何地区之间的通信。

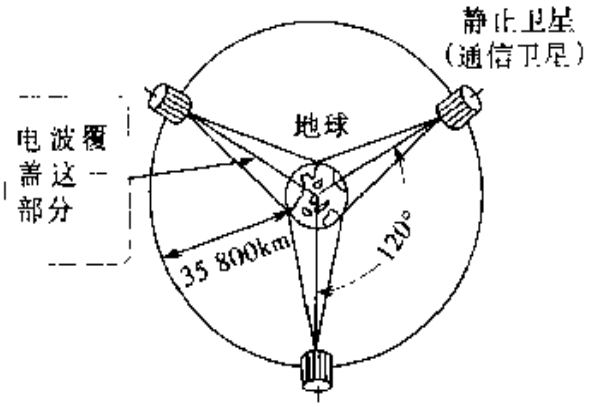


图1 静止卫星

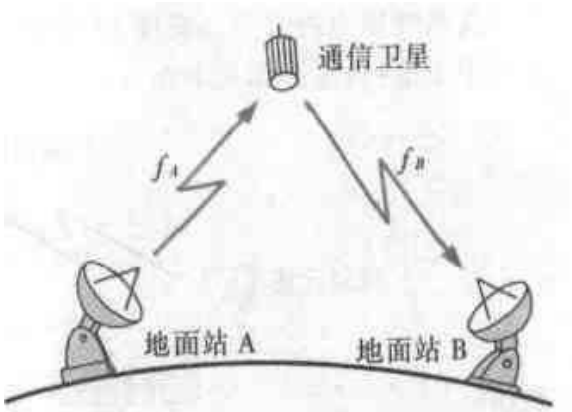


图2 通信卫星和地面站

这种静止卫星在以卫星通信为主的卫星广播和气象观测等方面得到了广泛应用。

初期的通信卫星只是把地球上发来的电波反射回去，返回到地球的电波已衰减得很微弱了。现在的通信卫星上都安装了称为脉冲转发器的中继设备，来自地球的电波经这个中继设备放大以后再送回到地面站。图2中，地面站A向通信卫星发射出频率为f_A的电波，通信卫星在对这

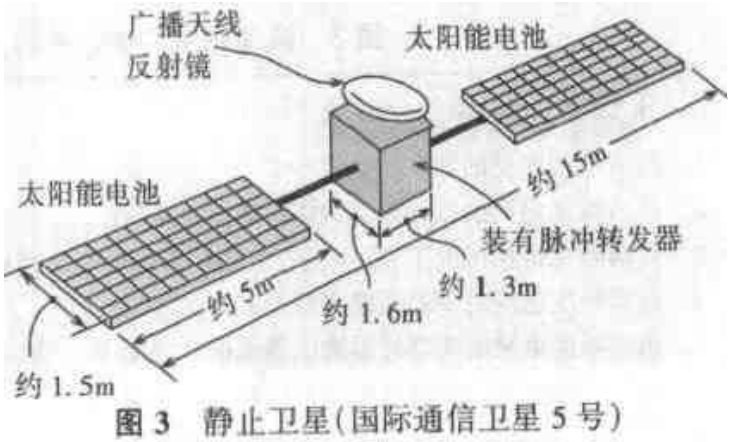


图3 静止卫星(国际通信卫星5号)

一电波进行放大的同时，还为了避免电波间的干扰而把频率变换成 f_B 发回到地面站 B 去。

图 3 是国际通信卫星 5 号的简图，太阳能电池是一对向两侧张开的大翼片。

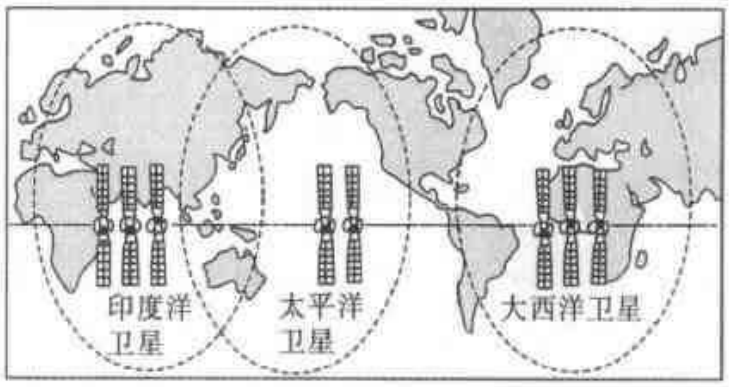


图 4　发射的静止卫星

国际通信卫星

如前所述，国与国之间的卫星通信，从理论上说只要发射 3 颗静止卫星就能覆盖全世界。但实际上，国际通信卫星组织在大西洋、太平洋、印度洋上空一共发射了十多颗，利用这些卫星在世界上几乎所有国家之间进行电话、数据、电视等传输业务。

卫星广播机构

如图 5 所示，卫星广播是将电视等节目发射到赤道上空的静止卫星上并能在家里接收的广播系统。

图中，广播中心或车载站发射的广播电波经广播卫星上的脉冲转发器放大及中继后，发回到地面上的单独接收点或统一接收点。

控制站对卫星的姿态和位置进行控制。

观看卫星广播节目需要有直径数十厘米的抛物面天线。

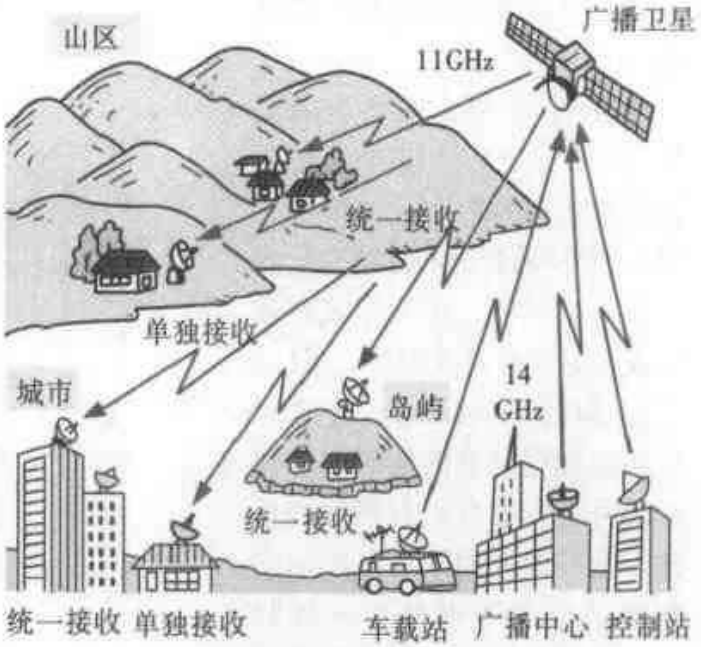
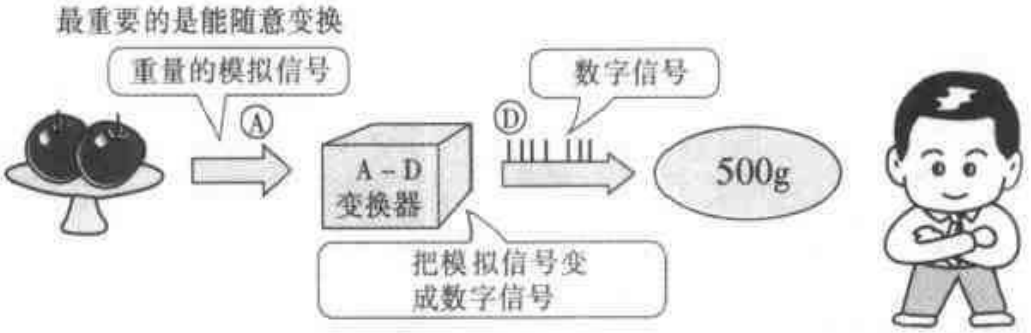


图 5　卫星广播系统

Let's review!

1. 静止卫星在赤道上空多少千米的位置上？
2. 要覆盖世界上所有地区，理论上需要几颗卫星？
3. 安装在静止卫星上的中继器叫什么？
4. 为什么地面站发射的电波频率与从静止卫星发回地球的频率不一样？

15 压缩光盘



模拟信号与数字信号

压缩光盘(CD)作为记录音乐和声音的装置而得到广泛应用。

CD 中是把音乐之类的模拟信号数字化后才记录的。图 1 说明模拟信号数字化的情形。图(a)那种随着时间连续变化的量称为模拟量，由音乐或声音变成的电信号是模拟量。图(b)是把这种模拟信号按一定的时间间隔加以抽取的情形，这种对信号进行抽取的过程称为**采样**。采样时间间隔可以表示成频率，这个频率称为采样频率。采样频率一般应大于模拟信号最大频率的 2 倍。

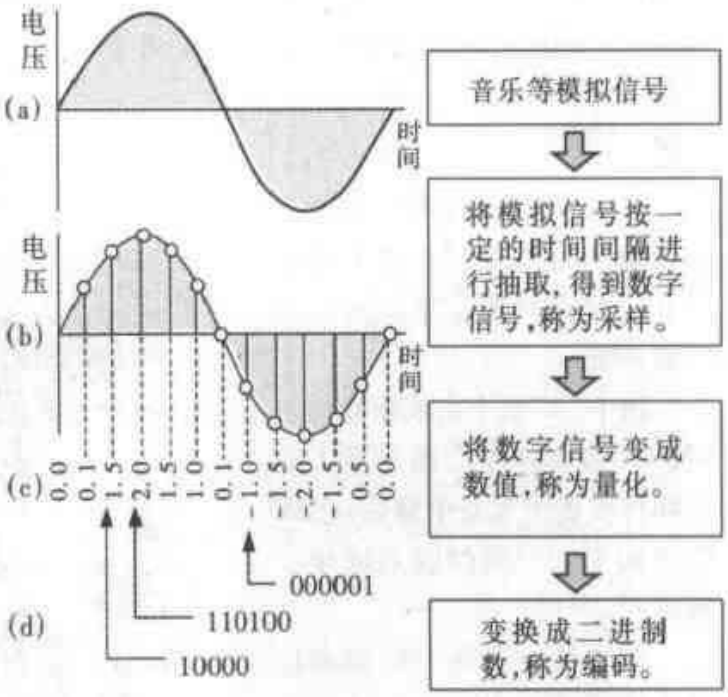


图 1　模拟信号的数字化

图(c)示出了将数字信号变换成数值的情形，这称为**量化**。图(d)是把量化后的值变换成二进制数，这称为**编码**。

CD 的光道和信息坑

将编码后的二进制数记录在光盘上。图 2 是将压缩光盘的一部分加以放大的示意。如图所示，刻在 CD 上的沟槽称为**光道**，光道上排列着的凹状部分称为信息坑。编码后的 2 进制数就是以信息坑的有无和长短来记录的。也就是说，数字化后的声音信号中的 1 是个信息坑，0 是以没有信息坑的形式记录的。CD 的大小为直径 12cm，是用称为透明聚碳酸酯的塑料材料做成的(图 3)。信息坑的大小为长 0.9～3.3μm、宽约 0.5μm。

1μm 是 1mm 千分之一，可以说是超微细的，一张盘上有几十亿个这样的信息坑。

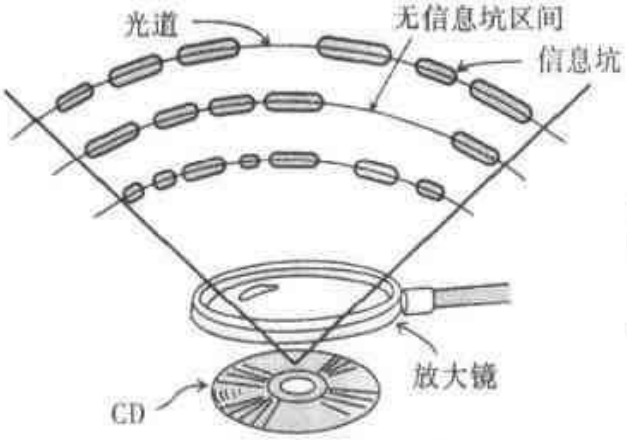


图 2　压缩光盘的光道

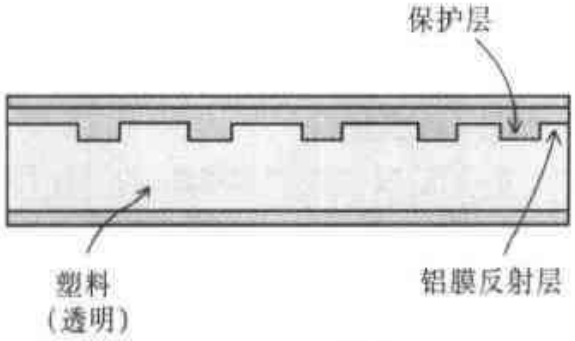


图 3　CD 的结构

信息坑的读取

图 4 是信息坑读取的原理图。如图 4 中的右图所示，在没有信息坑的地方，入射激光被反射后沿原路返回，而有信息坑的地方激光被散射不返回原处。这样就可以按反射光的有无检测出信息坑。

下面再来看图 4 的左图。激光发生器发出的激光通过透镜后在信息坑处聚成焦点，信息坑面反射回来的光经半反射镜反射后进入光传感器。如果有信息坑，光被散射，没有反射光到达光传感器。如果没有信息坑，则反射光进入光传感器而得到电信号。

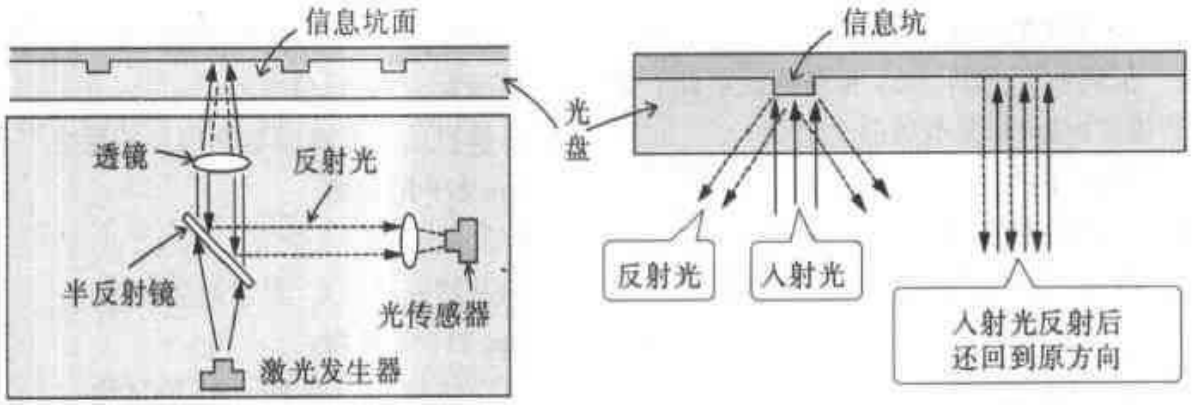


图 4　信息坑的读取

Let's review!

1. 压缩光盘是用模拟信号还是用数字信号记录声音？
2. 按一定的时间间隔对模拟信号进行抽取而得到数字信号的操作叫什么？
3. CD 的光道上记录声音信息的凹坑叫什么？
4. 读取信息坑时所用的光叫什么？
5. 把光变换成电信号的元件叫什么？

Let's review! 的答案



☞ **p. 189 的答案**

1. 永磁铁，振动膜，可动线圈　2. 右手
3. 电信号　4. d　5. R 的两端

☞ **p. 191 的答案**

1. 声能　2. 锥筒　3. 能发出高音频的喇叭　4. 低音　5. 高音喇叭、低音喇叭、中音喇叭　6. 线圈和电容

☞ **p. 193 的答案**

1. D 层、E 层、F 层　2. D 层
3. 100～1500kHz　4. 波长 = 光速/频率
5. 直接波　6. 短波

☞ **p. 195 的答案**

1. 取出希望接收的电波　2. $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
3. 检波　4. 晶体受话器　5. 压电现象

☞ **p. 197 的答案**

1. 低频放大电路　2. A 是调谐电路，B 是检波电路，C 是低频放大电路
3. 1599kHz　4. 超外差方式

☞ **p. 199 的答案**

1. 振幅　2. 频率　3. 10.7MHz
4. 控制振荡频率　5. 使振幅为固定值

☞ **p. 201 的答案**

1. 单声　2. 立体声　3. 2-2 配置
4. 3-1 配置或 4-0 配置　5. 静音或回响

☞ **p. 203 的答案**

1. 重放、录音、抹音　2. 录音放大器
3. 重放　4. 聚酯薄膜　5. 抹音
6. 高频电流

☞ **p. 205 的答案**

1. 380～780nm　2. 红和蓝　3. 红、绿、蓝　4. 用相同强度的三基色相加混色
5. 分色镜　6. 反射镜

☞ **p. 207 的答案**

1. 一体化的　2. 3 根
3. 电子束　4. 细长的矩形
5. 电子束在荫罩处被聚集成一点

☞ **p. 209 的答案**

1. 电子枪、偏转线圈、荧光膜
2. 偏转线圈　3. 正，第一阳极数百伏，第二阳极一千几百伏
4. 水平偏转和垂直偏转　5. 525 根

☞ **p. 211 的答案**

1. 能更有效的收到电波　2. $f_3=f_2-f_1$
3. 中频放大器　4. 偏置电压　5. 红外线

☞ **p. 213 的答案**

1. 16:9　2. 5.5 倍　3. 3 倍　4. 4 通道
5. 画面大、声音信息多
6. 将模拟信号变换成数字信号或反之

☞ **p. 215 的答案**

1. 35800km　2. 3 个
3. 脉冲转发器　4. 为了避免干扰

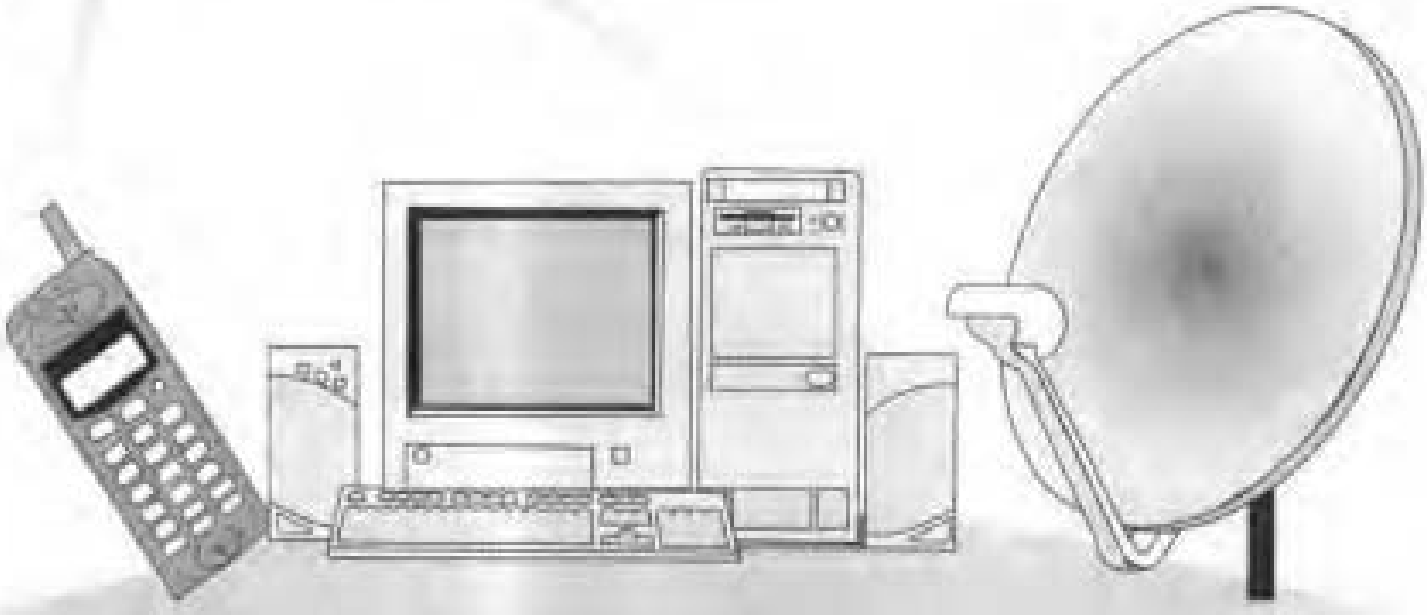
☞ **p. 217 的答案**

1. 数字信号　2. 采样　3. 信息坑
4. 激光　5. 光传感器





7 多媒体



多媒体是将文字、声音、图像组合在一起的新的信息传递手段，它的新技术含量很高，并正在发展之中。对于信息家电系统，从已经普遍使用的直至今后有待发展实现的，均可称为多媒体。

如今，个人计算机迅速普及，这也与多媒体技术密切相关。从这一意义上讲，个人计算机也是多媒体的重要范畴之一。

而且，在谈到通信网时，也有被称为"网络的网络"的国际互联网以及被誉为综合业务数字网的 ISDN 和宽带 ISDN 等。

美国前总统戈尔提出的信息高速公路设想，更是给予世界以巨大影响。日本版的信息高速公路，欧洲欧共体版的信息高速公路等已公开发表。这些通信网可以说都与多媒体有密切的关系。

除去以上说明之外，本章中将以图解的方式，对与多媒体有关的主要问题，作一通俗易懂的阐述。

1 多媒体究竟是什么?



多媒体的概念

看到和听到多媒体这个词语已经很久了。究竟什么是多媒体?现在尚无严格定义,一种说法就是"能够双向交换声音、文字、图像等信息的媒体"。

具体地说,就像被称为家庭购物、饭厅购物那样,待在家里也可购入所需要的商品;不去学校,通过学习从学校传来的"菜单"也能增长学力的在家学习;待在家中也能获得远方的信息等等。

还有,从外地确认自家的安全以及控制电灯、烧洗澡水、做饭等,远程医疗,电视电话,计算机通信,移动通信,车(船)载通信系统,电视会议以及通信卡拉 OK 等诸多方面。

远程病理诊断的组成

图 1 示出了远程医院和大学医院之间用 ISDN(综合业务数字网)联接,进行病理诊断的组成。它的出现是由于能够进行病理诊断的医师要比内外科医师少,从而请求大学医院病理医师进行诊断的情况不断增加的缘故。

远程医院将患者病理细胞的图像用光缆传送到大学医院,大学医院对其用高分辨率图像装置进行研究和病理诊断,再将结果送回远程医院。远程医院根据此结果进行治疗。

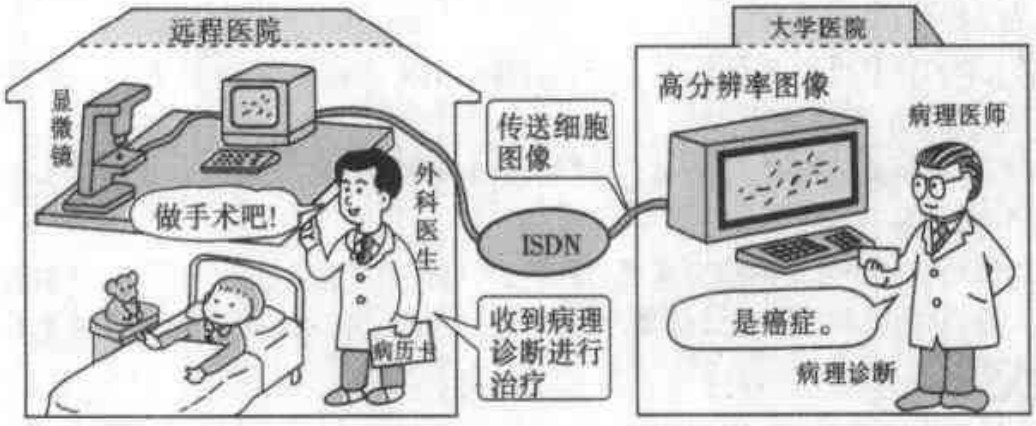


图 1 远程病理诊断

在家健康诊断的组成

使用有线电视进行的在家健康诊断也是多媒体的一种。患者在自己家里使用专用终端，将血压值、心电图结果等输入系统。如果有异常则按照医师的指示接受治疗。这样一来，病人无需徒劳地定期往医院跑，医院的诊断效率也可提高，而且还能增强患者的健康管理意识。

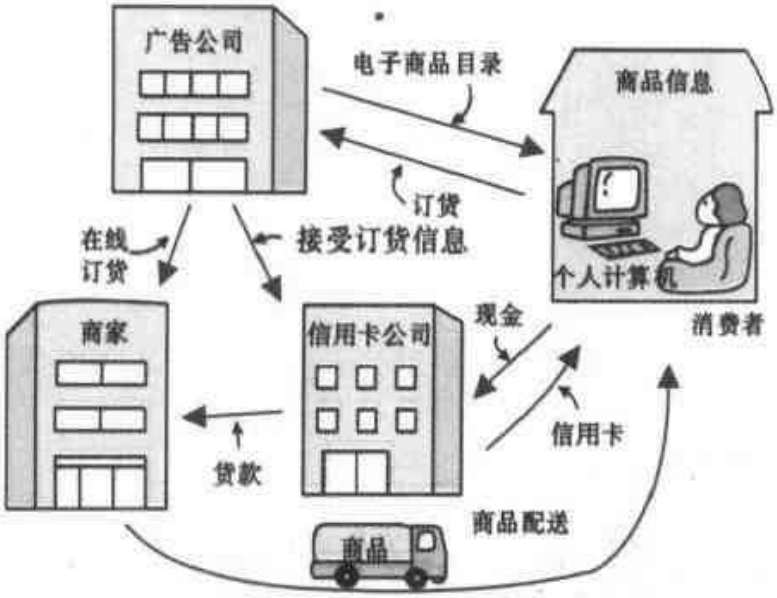


图 2　饭厅购物

饭厅购物

图 2 示出待在饭厅而要购物时的现金、信用卡以及商品的流通情况。

待在厅中的消费者操作终端就能以静止图像方式看到广告公司的商品样本目录。这样的样本目录称为电子目录。如果有中意的商品，就可用此终端订货。广告公司将商品名和送达地在线通知处理商品的流通商，流通商将立即把商品送到顾客家。

那么，费用是怎样支付呢？消费者可以和信用卡公司立个合同，用信用卡来支付货款。信用卡公司一收到广告公司来的订货信息就立即将货款付给流通商。商品样本目录除静止图像外也可以充分运用动画以及声音等进行传送。这样的购物是个人计算机通信的一种。

通信卡拉 OK 的组成

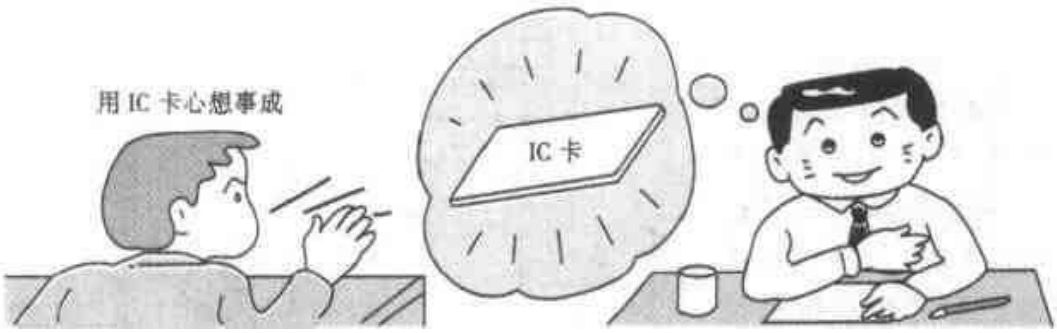
通信卡拉 OK 是准备充分的经营公司利用公共通信线路将曲子送往卡拉 OK 包厢等店的传送系统。用户只要一点想唱的曲子，立即就能接通，曲子和图像一起出现。通信卡拉 OK 的曲目很多，新曲一出立刻就可以唱，对于店家来说，与激光唱盘设备相比投资少、设备占用的面积也小(图 3)。



图 3　通信卡拉 OK

Let's review!

1. 多媒体收发什么形式的信息？
2. 远程病理诊断中需要什么样的通信网？
3. 在家健康诊断中患者把什么样的数据从自家往医院传送？
4. 在家购物中所用的商品样本目录又叫做什么？



区域 IC 卡系统

多媒体也影响到行政和公共组织。例如，居民已持有 IC 卡。IC 卡已经开始使得医疗福利服务水平得到提高，各级政府颁发各种证明书的工作变得十分便利。

图 1 给出了地域 IC 卡系统的例子。IC 卡上记录有持卡人的住址、姓名、血型、既往病史等，对于急救治疗，非常有用。

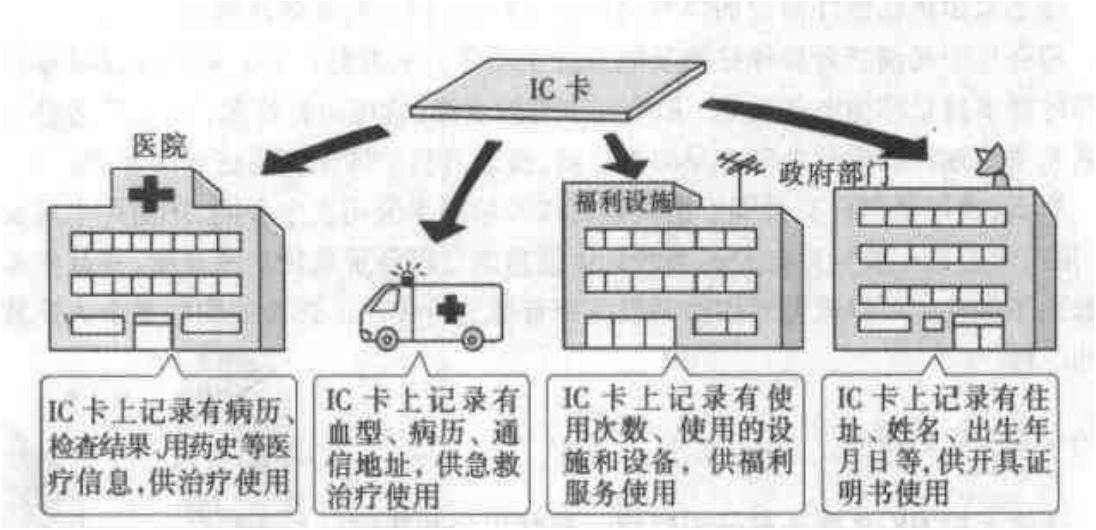


图 1　区域 IC 卡系统

还有，IC 卡上记录有紧急情况时的联系地址、对药品是否过敏、既往病史、健康检查结果等医疗信息，可供医院治疗参考。

而且，对于社会福利设施等公共组织，将设施设备的种类和利用次数记录在 IC 卡上，也可以提高服务活动的水平。在各级政府，通过 IC 卡上记录的住址、姓名、出生年月日等对本人进行确认，可以迅速开具证明书。

IC 卡重要的一点可以说是使用非常方便。因此，常将其做得可在邮电局等处作为现金信用卡使用，也能用于设施利用的预约、各种比赛的预约以及公共费用的结算等。

世界文化遗产查阅系统

利用多媒体，可以考虑将大学、图书馆、博物馆的馆藏信息公诸于世。

东京大学全校共收藏有四百多万件佛像、动植物标本和研制的样品模型。据说已开始将其收入视盘，这项工作预计 2005 年前后完成。该视盘未来也会向一般公众公开(图 2)。



图 2　各种数据库的公开

在有的博物馆中，陈列橱窗的旁边设置有计算机图解装置，参观者可以听到其悦耳的解说，深受欢迎。

在英国的不列颠图书馆，据说已经开始将全世界的绘画、照片、历史文件、旧邮票等文化遗产输入计算机。未来无论谁都可以从文化遗产中读取信息。

不再需要现金

用户在线购物时，将信用卡的编号用电子邮件送给商家，通过信用卡公司进行结算。

但是，如果在线购买商品、在线支付，该怎么办呢？这个也有办法。

图 3 说明了不是现金而是电子货币的流通情况。消费者从商家得到商品，在线用电子货币支付。因此就有必要通过银行进行电子货币和现金的交换。商家将从消费者手里得到的电子货币在银行换成现金的过程如图 3 所示。

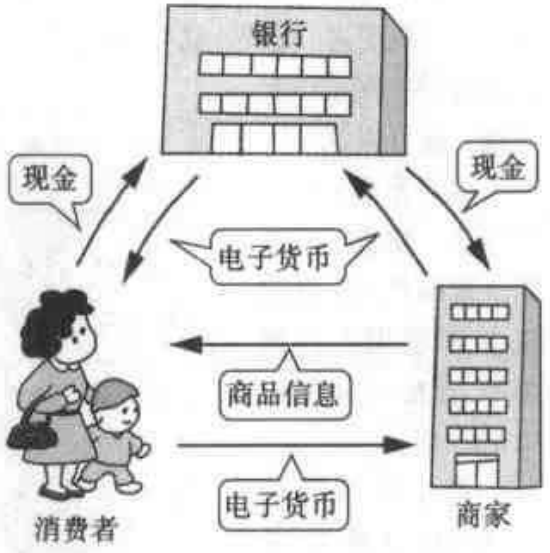
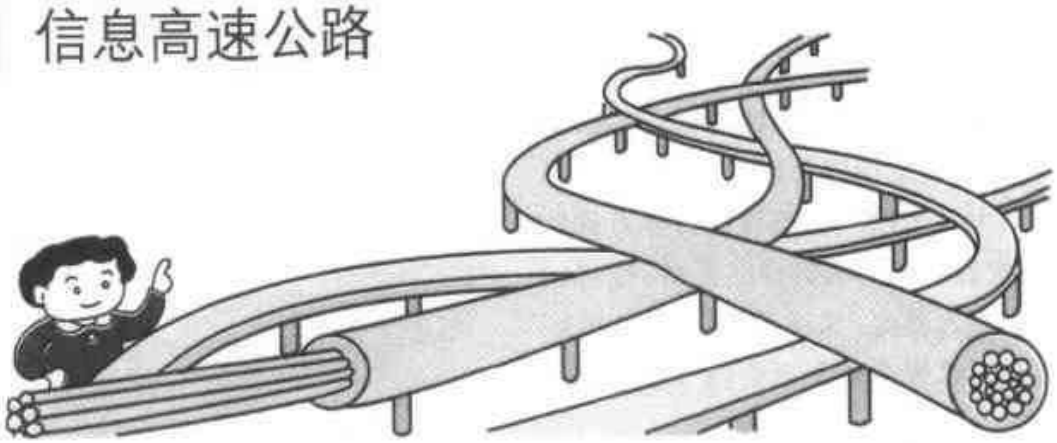


图 3　电子货币的流通

Let's review!

1. 作为用于区域 IC 卡系统的 IC 卡医疗信息，IC 卡上应记载哪些内容？
2. IC 卡被认为对哪些部门有用？
3. 将公共组织保存的文化遗产复活于多媒体向一般公众公开时，都考虑到哪些种类的文化遗产？
4. 在线购物时，可以用什么代替信用卡？

3 信息高速公路



信息高速公路构想

信息高速公路的构想，是美国副总统戈尔提倡的，克林顿总统将其作为自己的竞选口号。是计划构筑能让文字、声音、图像以及数据等信息往来通行的道路，以实现多媒体社会。为实现这一计划，就要能把光纤引入美国的所有家庭。这个计划就是所谓的信息高速公路构想。不言而喻，这可以说是一个不仅将家庭，而且连企业、学校、图书馆、政府机关、研究机关等也用光缆网都联结在一起的庞大的计划。

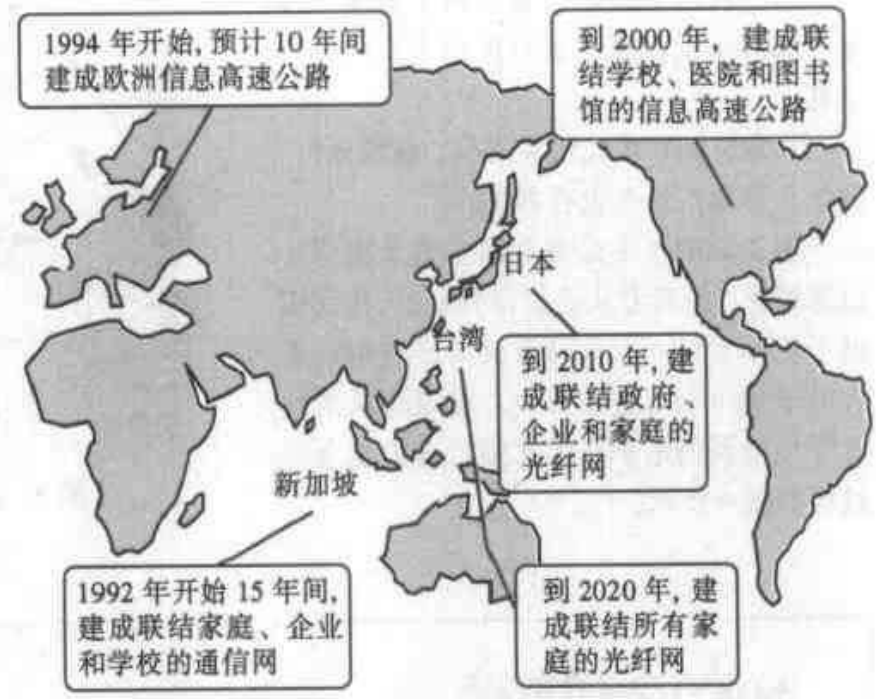
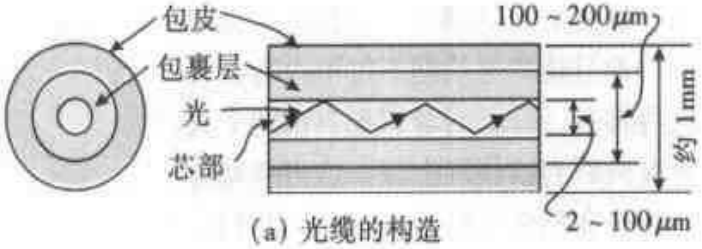


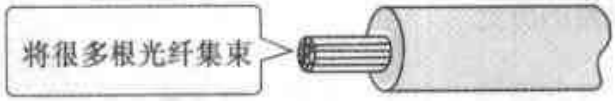
图 1　世界信息高速公路构想

图 1 是世界信息高速公路的构想。美国想要到 2000 年实现这一构想。日本邮政省的计划是到 2010 年在日本建成联结政府、企业和家庭的光缆网。可以说这就是日本版的信息高速公路构想。在欧洲，欧共体公布的计划是从 1994 年到 2013 年 20 年间，投资约合 18008 千亿日元，建成欧洲版信息高速公路。所谓要求将欧洲区域内的公共机关和民间企业联结起来就是欧共体的想法。亚洲各国也预计在 2007～2020 年间建设信息高度综合的通信网。


光缆的传送容量
16 000 倍
铜导线的传送容量

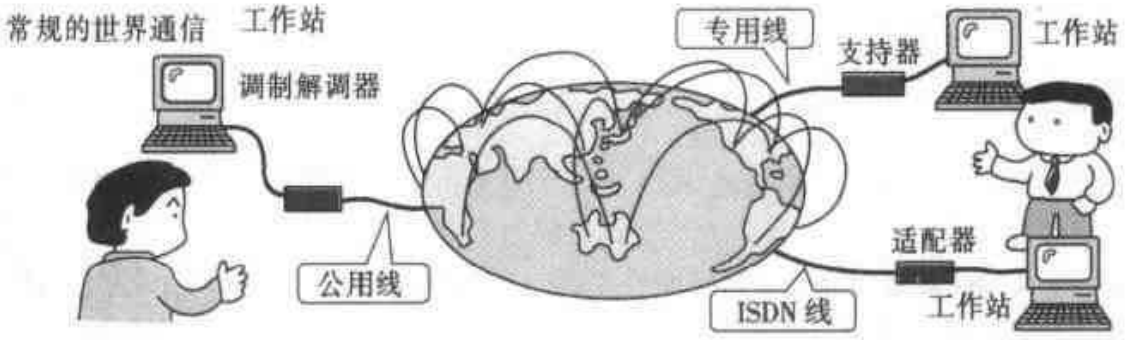

包皮
包裹层
光
芯部
100 ~ 200μm
约 1mm
2 ~ 100μm

(a) 光缆的构造


将很多根光纤集束

(b) 光缆

4 互联网



什么是互联网 Internet

Internet 中的 inter，具有“之间”、“共有”的意思，net 是 network 即通信网的意思。所以，所谓 Internet 实际上就是将 network 和 network 联结在一起的东西，或者也可以看作为“网中网”。

所谓通信网，有企业通信网，CATV(有线电视)通信网、电话公司通信网、个人计算机通信网、政府通信网、研究所通信网等各种各样的通信网。而且这些通信网不仅国内有，全世界都有，因此，当着想把自己的个人计算机联到这些网上时，这当然就被认为是在利用互联网 Internet(图 1)。

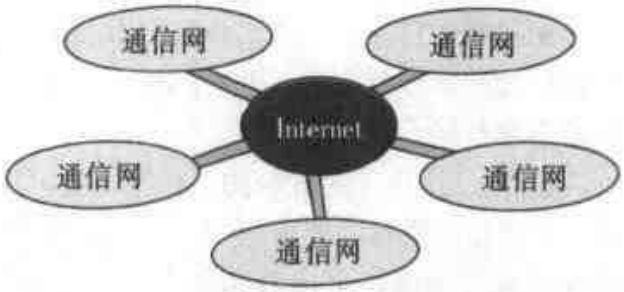


图 1　互联网

互联网的历史

互联网的历史是从美国五角大楼(国防部)开始的。五角大楼中有四个大的部门，各自都有自己的通信网。由于出现了将这四个通信网连接在一起的必要性，自然就发展成了后来所谓的互联网。其时是 1969 年。

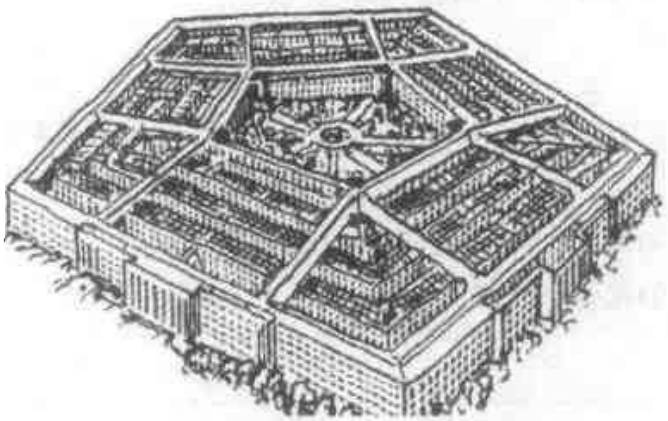


图 2　美国国防部五角大楼

到了 70 年代，美国军方以外的从事有关国防研究的大学、研究所、企业也被允许使用这一互联网。日本的互联网，到 1992 年已经有了学术研究用的网络。其后，互联网服务公司纷纷涌现，出现了进行各种商业服务的“商用通信网”，开展 E-mail、计算机通信、网上新闻阅览、投稿等服务。这些网络不仅服务于国内，其对象已经是全世界。

我们的教室和互联网

互联网已经开始被引入小学、中学和高中的教学中。互联网是世界规模的计算机网络，使用互联网，可以和远处的国内同学乃至外国学生一边交换文字、声音、图像、动画等信息，一边进行教学。从来没有过的这种教学给学生以很大的兴趣(图 3)。



图 3　利用互联网的教学

用互联网做什么

互联网上有很多菜单，WWW(World Wide Web)可谓其代表，也有人将其称为 3W 或 WWW 网(图 4)。

日本的 3W 中，有内阁总理大臣官邸 3W，在其上可以看到总理大臣的新年感想啦，经济企画厅发布的公告文书啦等等。

在美国有 30 多个州的州 3W，中间有交通信息 3W，例如，可以知道彩色显示的洛杉矶的交通信息。

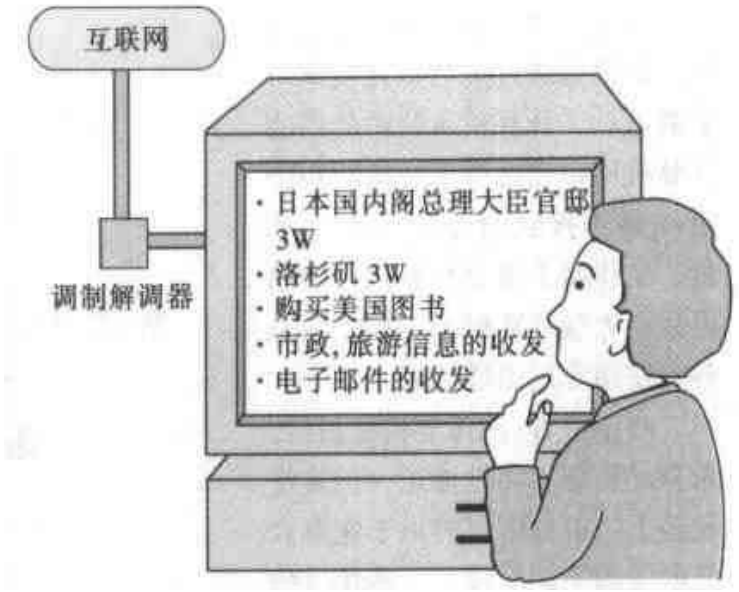


图 4　3W

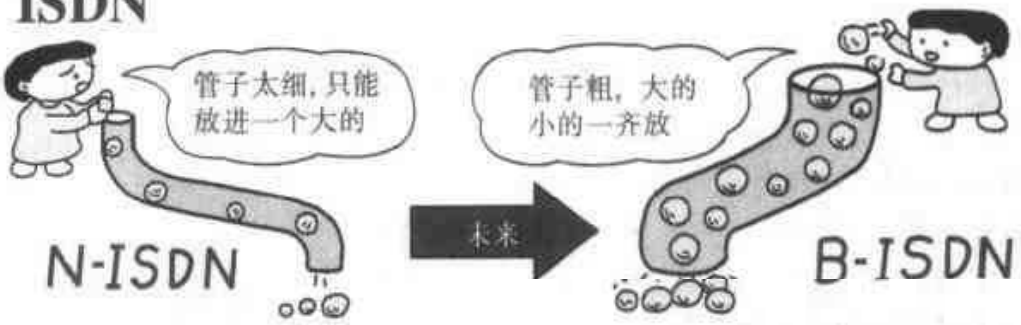
互联网的用途是多方面的。例如，可以用来向美国书商订货进行图书交易，也可以在世界范围内收发电子邮件。为了让日本人利用互联网上的英文信息，还有将互联网传送的英文信息实时翻译为日语的翻译服务。

Let's review!



1. 用一句话说说互联网是什么？
2. 互联网的发祥地是哪里？
3. WWW 怎么读？试举一例。
4. 互联网的用途很多，用来收发邮件的叫什么？
5. 使用互联网时，常见的是英文信息。对于不擅长英文的用户，准备有什么样的软件？

5 ISDN



迄今的通信网

图 1 示出了迄今为止的通信网。电话是通过电话网连接到对方的电话，计算机通信中使用的计算机网是通过数字交换网和公用线路连接到对方的个人计算机，工作站是通过数据包交换网连接到大型计算机上。总之，都是各自使用专用的通信网。

对于声音、图像等模拟信号，希望尽可能忠实地传送，但是将其送上一条通信网时由于频率和波形等的不同而相互干涉使得传送结果变坏。

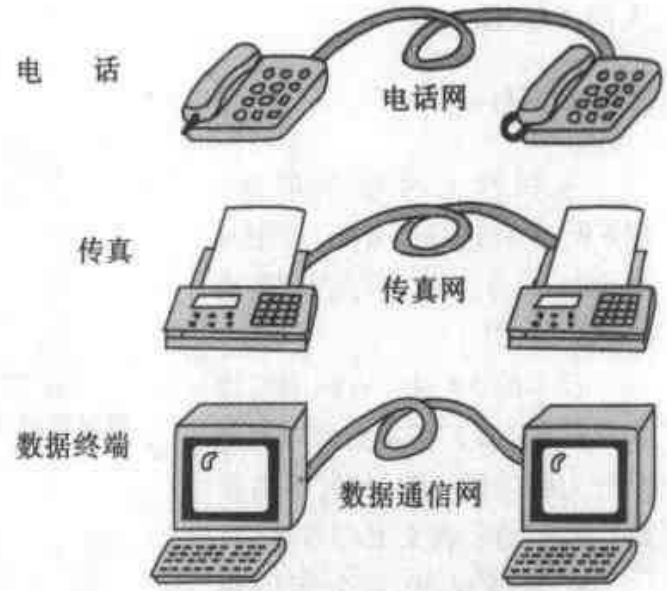


图 1　各种通信网

什么是 ISDN

图 2 是 ISDN 的概念图。ISDN 就是 integrated service digital network，称为“综合业务数字网”。

数字网由于是将所有的信息都转换成数字信号进行传送，在通信网中即使各种信息混送也不会造成什么坏影响。

所以，只要将电话、传真机、图像终端装置、计算机等接到一

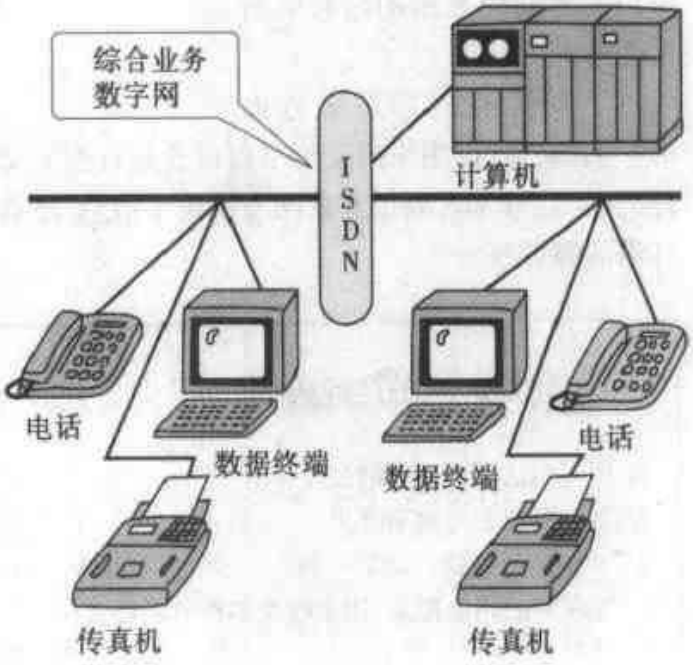


图 2　综合业务数字网

个插口上，就能收发信息。就是说，各种通信服务都可以用同一网络提供。这就是 ISDN，迄今为止分别工作的各种通信网自然就综合起来了。

ISDN 与迄今的通信网相比，有以下特点：

● 只需一个插口就能同时进行多路通信。例如，正在用电话和对方谈话时可同时收发 Fax。还有，电话和计算机通信可同时进行。

● 插口可以用作各种监测、控制数据传送线。例如，煤气表和电表的读取，或者供用户从外出地控制自家的空调和浴室。

● 可在正在进行通信的同时接收其它的信号。例如，正在打电话而其它的电话打来了，这时可将该电话的电话号码显示在电话机的显示屏上。

B-ISDN——宽带 ISDN

现在使用的 ISDN 能够充分适应声音、静止的图像、Fax、数据、电视电话、电视会议等，但是不能适应电视图像那样的动画以及超高速数据通信。因此，作为也能用于动画面的通信网络，B-ISDN (broad-band：宽带 ISDN) 就出现了 (图 3)。

相对于 B-ISDN，图 2 所示的 ISDN 被称为 N-ISDN(narrow-band：窄带 ISDN)。

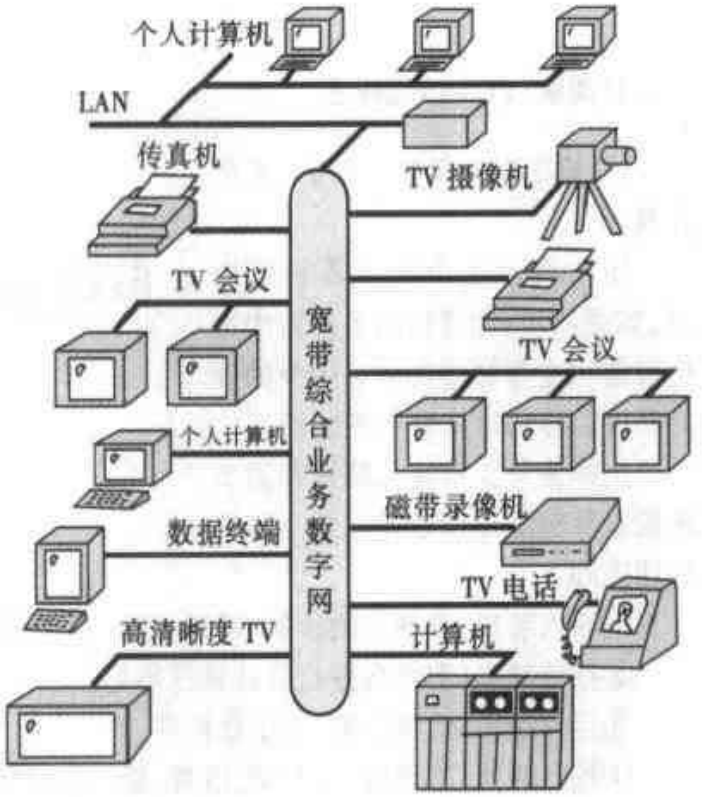
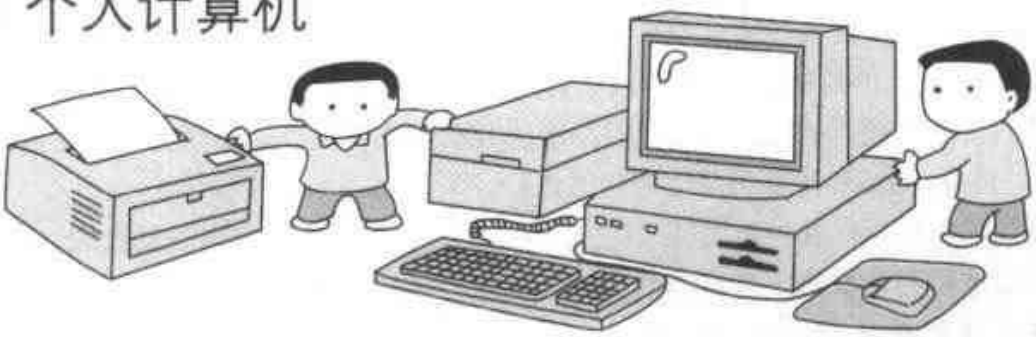


图 3　B－ISDN

Let's review!

1. ISDN 的中文名字叫什么？
2. N-ISDN 中的 N 和 B-ISDN 中的 B 各是哪个英语词汇的简称？
3. 用 N-ISDN 时，能在打电话的同时使用传真机吗？
4. 用 N-ISDN 时，能从外出地控制空调吗？
5. 用 N-ISDN 时，能传送动画吗？
6. 用 B-ISDN 时，可使用电视摄像机吗？

6 个人计算机



个人计算机(PC 机)的构成

PC 机正在向学校、企业、家庭普及。

图 1 所示是个人计算机的构成。如图所示,计算机的主体由中央处理器和主存储器构成,中央处理器又可以分为运算器为控制器。

主体的外围有输入装置和输出装置以及辅助存储装置。各个装置的功能如下:

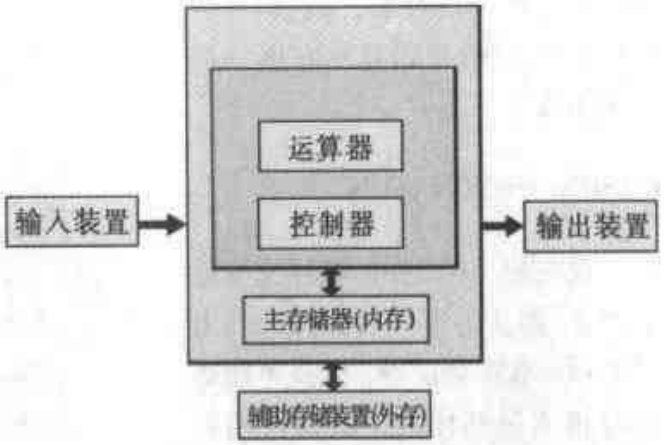


图 1 个人计算机的构成

①输入装置:数据等的读取(键盘、鼠标器、光笔等);

②存储装置:存储数据以及计算结果等;

③运算装置:数据计算、大小比较等;

④控制装置:协调输入、存储、运算、输出各装置的工作;

⑤输出装置:显示运算内容、打印等(打印机、*X-Y* 绘图仪)。

硬件和软件

如图 2 所示,计算机主机、显示装置(亦称显示器)、打印机、键盘等都是硬件。

而各种各样的程序以及应用技术统称为软件。软件是由软盘等提供的。

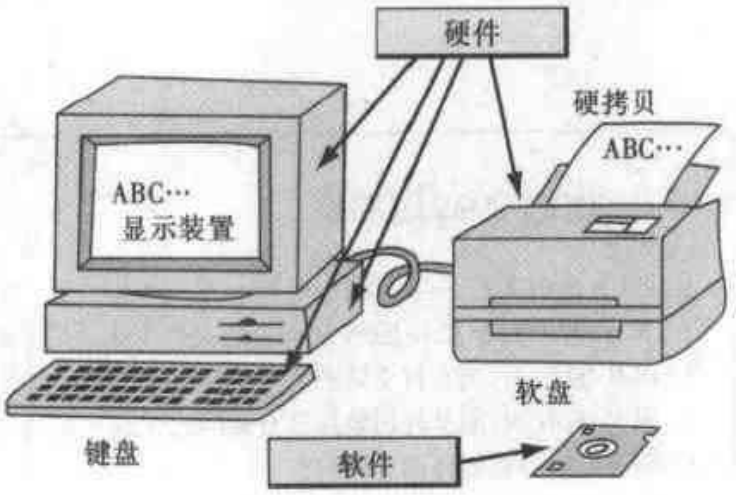


图 2 硬件和软件

PC 机的使用

利用 PC 机可编制程序、按程序进行计算、比较大小，显示其结果等。编程所用的词语叫做程序语言。程序语言有 BASIC、FORTRAN、COBOL、C 等，它们盛行于学校和企业。

也有各种应用软件。这里，以“一太郎”、“花子”和“Lotus1 - 2 - 3”为例说明如下。



图 3　各种应用软件(日本)

● **一太郎**　是一种处理日语文字的流行软件。具有操作简单、编辑容易、可保存文件等诸多优点。

● **花子**　是一种用于文字处理文件中的绘画和作图的软件。也可以作为独立的编程软件发挥很大的作用。

● **Lotus 1-2-3**　是一种典型的图表计算软件。备有 100 多种计算所需的函数。

以正确的姿势操作计算机

正确的键盘操作姿势非常重要。还应注意每工作一小时要休息十分钟，休息时调暗显示器的辉度，不要让阳光和照明光射到显示器的显示屏上。

图 4(b)所示的姿势对眼睛不好，肩膀也会很酸疼。

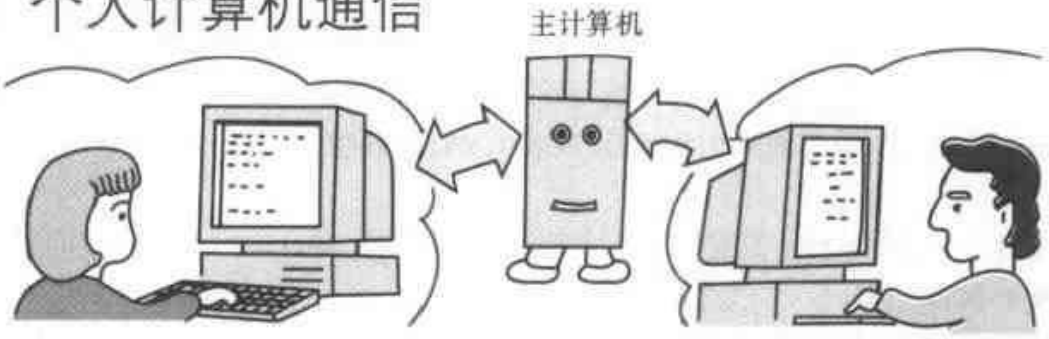


图 4　键盘输入操作的正确姿势

Let's review!

1. 输入装置有哪些？试举二例。
2. 运算装置和控制装置统称什么？
3. 什么是硬件？说出个人计算机装置的名称。
4. 软盘中的内容是硬件还是软件？
5. 应用软件都有哪些？
6. 在 PC 机上工作一小时休息几分钟为好？

7 个人计算机通信



个人计算机(PC 机)通信的应用

PC 机通信，是将通信中心的主计算机和各人的 PC 机用公共通信线路联接，以交换信息。作为 PC 机通信交换信息的具体例子，有电子布告牌、电子邮件、电子会议等。

PC 机通信，与电话和传真一样，是非常有效的信息交换手段。

个人计算机通信中的调制解调器

实际进行计算机通信时，除了 PC 机和通信软件外，还必须要有调制解调器装置。

调制解调器能将数字信号变为模拟信号，也能将模拟信号变为数字信号。

图 1 示出了调制解调器的背面、连接器及其接线等。为了将计算机通信中使用的 PC 机和这个调制解调器连接起来，必须要有 RS-232C 接口。

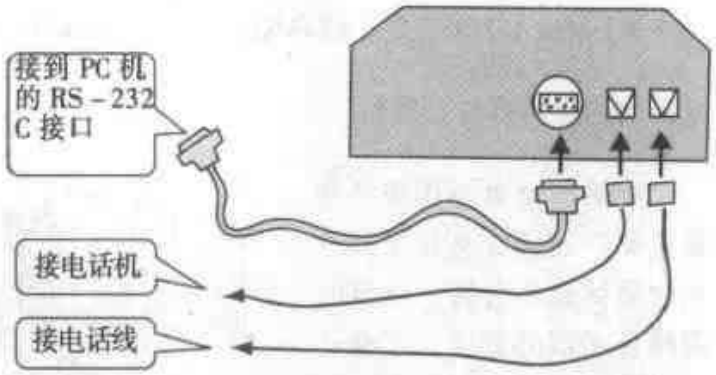


图 1 调制解调器的背面以及和 PC 机的连接

电子布告牌

电子布告牌，跟一般的布告牌作用一样，用于非指定多数会员自由地读写自己的意见、疑问以及通知介绍等。

图 2 是电子布告牌的概

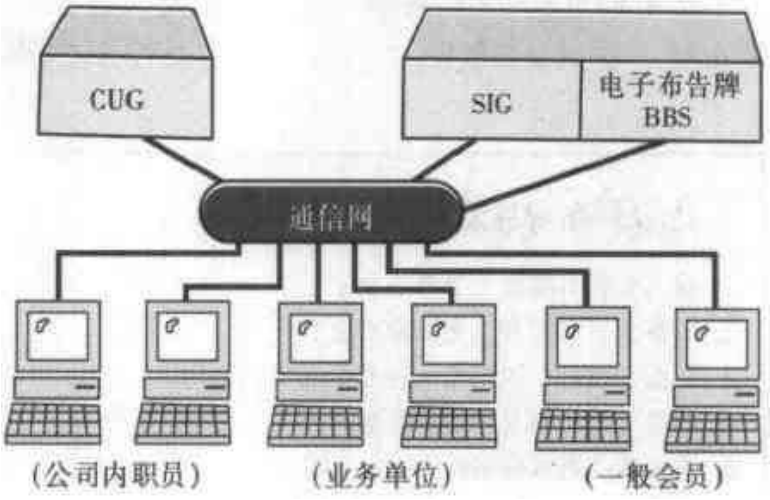


图 2 电子布告牌概念图

念图。图中的 SIG 是 Special Interest Group 的缩写，意为具有特殊兴趣的人们的集合。CUG 是 Closed User Group 的缩写，意为只有公司里的职员等特定者才能够参加的小组。

电子布告牌也叫 BBS，这是 Bulletin Board System 的缩写。

电子邮件系统的构成

图 3 是电子邮件的概念图。可以将信件送往分配给各个用户的信箱，也可以收取送来的信件。收信人不限一人，也可同时发给几个收信人。图中所示为会员 A 将信件发送给会员 E 和 F。

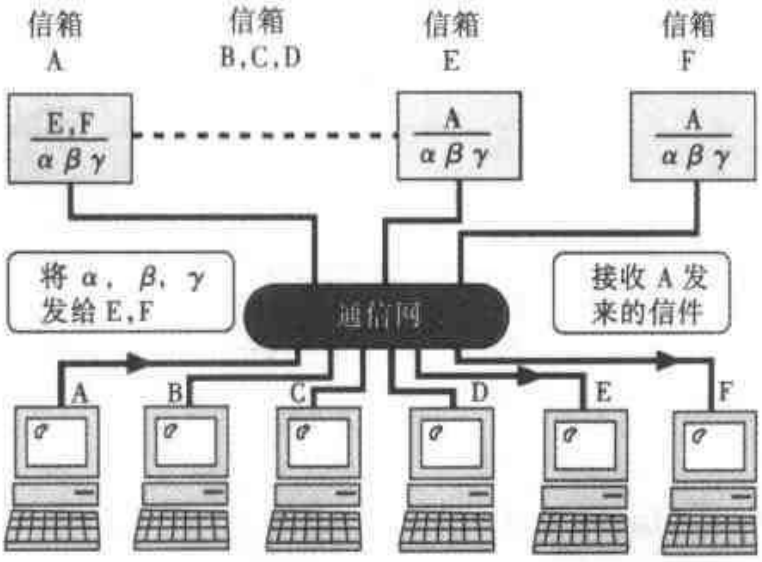


图 3　电子邮件传送

电子会议系统构成

图 4 是电子会议的概念图。电子会议是在主计算机的内存中准备一个虚拟的会议室，参加者发表意见，其他人读出这些意见而参加会议

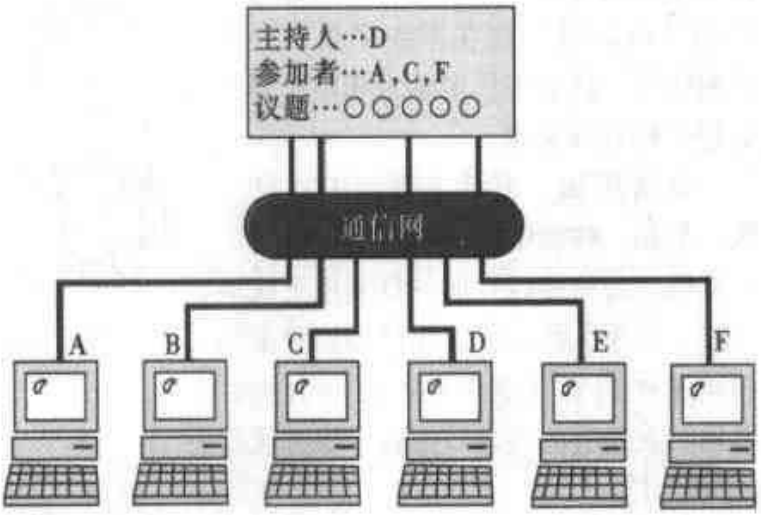


图 4　电子会议

被称作“聊天室”的电子会话也很盛行。

此外，诸如文献数据检索、新闻、天气预报、金融信息、机票的预订发售、商品的买卖、旅店的预约等服务也正在逐渐推开。

Let's review!

1. 试举三件可利用 PC 机通信的服务。
2. 电子布告牌中有一个 SIG，此外还有什么？
3. 电子邮件可以同时发送给多个收信人吗？
4. 什么是“聊天室”？



8 移动通信



移动通信有许多种

人们在乘车时，或出差途中常想打电话，或者虽然知道对方联络处的电话号码但对方现在不在那里而又必须联络。移动通信正是为满足这种愿望而研究和实现。

众所周知，电话必须要有电话线。但是，移动中打电话就不能使用电话线。怎么办呢？那只有利用无线电波。使用无线电波，在移动的汽车和电车中或者行走中都可以和对方通话。无线电的送达范围称为服务区域(图 1)。



图 1

移动通信使用的频段

无线电波的用途多种多样，像广播、电视的播送，非常灾害时的使用，与警察的联络，业余爱好者的其他用途等。因而，就要对移动通信用的无线电波限定一定的范围。这个无线电波的范围是按频率划分的。

150MHz ➡ 警察、消防用
250MHz ➡ 无绳电话用
400MHz ➡ 出租车用
800MHz ➡ 汽车、飞机电话用
1.5/1.6GHz ➡ 海事卫星通信用
1.9GHz ➡ 个人手提电话(PHS)等用

图 2

图 2 示出了频率的宽度(称频段)及其用途。所谓频率就是每秒钟交流变化的次数，单位为 Hz。MHz 就是 10^6Hz 即百万赫，GHz 就是 1000MHz 即 10 亿赫，是非常高的频率。

移动通信使用的频率

无线电通信中用的是无线电波，和有线通信不同，无线电波可以飞向任何方向。因此，就要按照用途分配频率。图 3 按主要用途示出了移动通信所使用的无线电波的频率。

无线电传送有个特点，就是频率越低传送越远，高频就传不远。

特别是频率高到数吉赫（GHz）以上时，山和大建筑物的背后无线电波就传不到，雨雪还会带来使无线电波衰减的麻烦。然而，高频也有其优点，就是频带宽，因而频道数多。

频率 (MHz)	用途	
860	汽车模拟无线电话	NCC
870		NTT 全部
885	飞机无线电话	
887	海港无线电话	
889		
891	汽车模拟无线电话	
901	区域防灾无线电话	
903	个人无线电话	
905		
940	汽车数字无线电话	
950		

图 3　移动通信用频率及用途

模拟方式和数字方式

图 4 示出了接收信号的强度与接收信息的质量间的关系。可见，模拟方式时，收到的信号越强接收质量越好，相反，信号弱时，质量变坏，收听困难；数字方式时，信号电平即使很小，接收信息的质量仍然很好，这是数字方式的优点。汽车数字电话、数字式手提电话、数字式无绳电话等，正是利用数字方式的这一优点而得以发展。

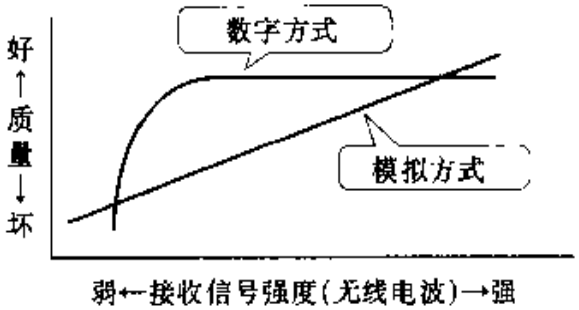


图 4　接收信号的强度和接收信息质量

Let's review!

1. 移动通信有多种，但是哪一个也不能用有线，它们用什么？
2. 汽车电话使用的频段是多少？
3. MHz 是多少 Hz？
4. 提高频率有什么优点？
5. 举出模拟方式的缺点。
6. 举出数字通信方式的优点。



9 无绳电话



什么是无绳电话?

电话直到今天都仍在有线通信中使用着。从电话局到各个家庭、企事业单位、学校敷设电缆,用电话线把电缆和电话机连接起来就可以通话。

无绳就是没有电话线,无绳电话就是不要电话线的电话。

如图 1 所示,电话局和一般家庭的母机(连接装置)用电缆连接,而这个母机和子机(无绳电话机)则靠无线电联系,无绳电话指的就是这种子机。

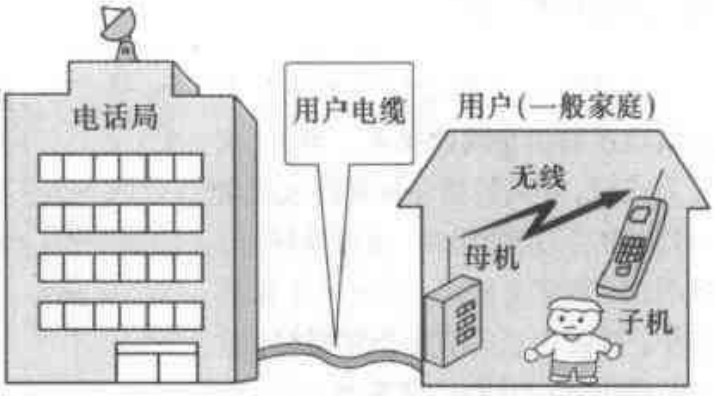


图 1 模拟无绳电话

母机相当于汽车电话及手提电话系统中的无线电收发基站。但是,汽车电话有较大的传送范围,而无绳电话的无线电波仅限于极狭小的范围。即母机发射的无线电波的通信功率在 10mW 以下,由于功率极小,无绳电话的优势范围是家中,充其量到院子里。这一点和汽车电话以及手提电话有很大的差别。

这里必须十分注意的是,因为是无线电,就会和邻居的母机相互干扰。所以,每套母机和子机(无绳电话机)系统都要在控制信号中放置一个标识符(ID),机器检查这个 ID 后予以接通。

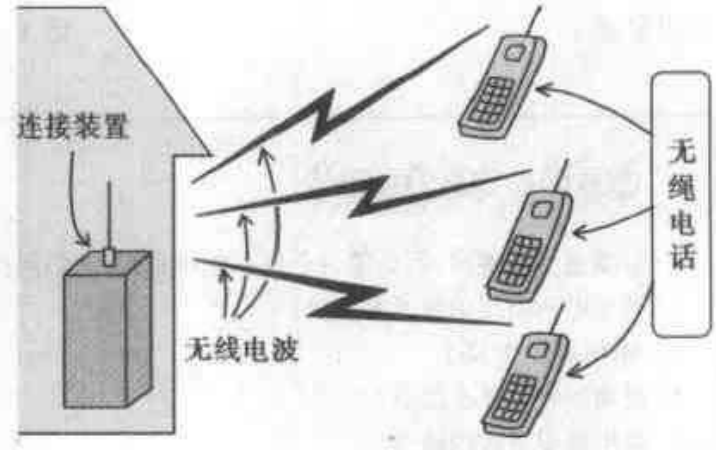


图 2 多部电话机的使用

无绳电话的基本构成是连接装置和电话机配对使用。图 2 是

多部电话机共用一台母机的用法。

什么是 PHS?

模拟无绳电话用于室内。个人手提电话系统(PHS)则是不仅室内而且室外也能用的无绳电话。

PHS 是数字无绳电话，其特点是杂音少，传送速度快。图 3 示出 PHS 的概念图。

①室外用 PHS：作为室外基站使用。

②家庭用 PHS：作为室内基站(母机)使用。

③企事业用 PHS：设置在企事业内部的基站，备有室内交换机(PBX)。

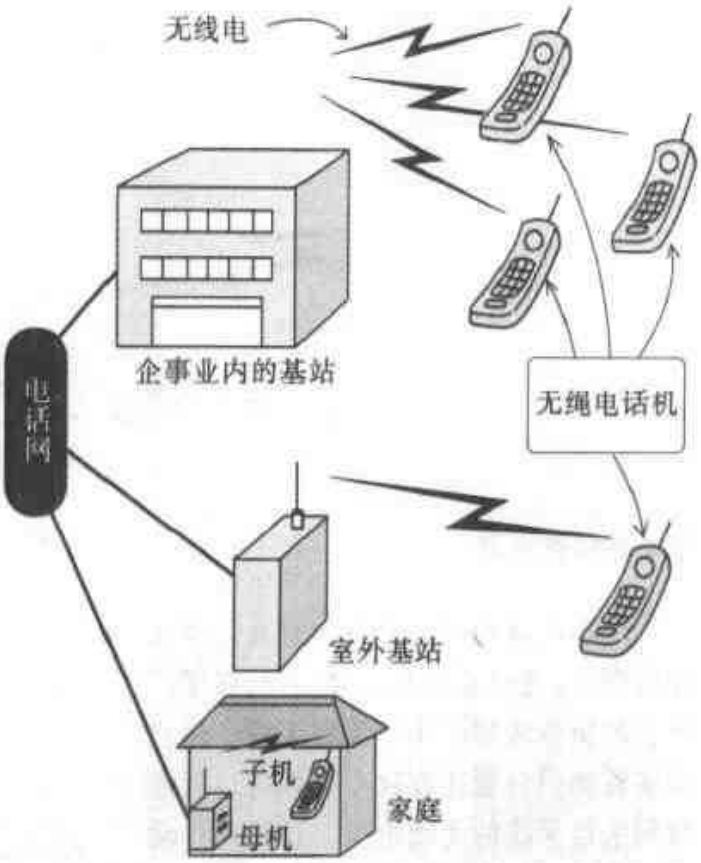


图 3　PHS 概念图

PHS 的频段

图 4 示出了 PHS 使用的频段和传送速率。

将收发的声音变为每秒 32kbit 的数字信号，这样收发信的频率即可用相同的频率。使用的无线电频段为 1.9GHz，基地和无绳电话机间按时分多路方式联结。

人们期待着将 PHS 和个人计算机连在一起成为能传送数据和图像的多媒体机早日实现。

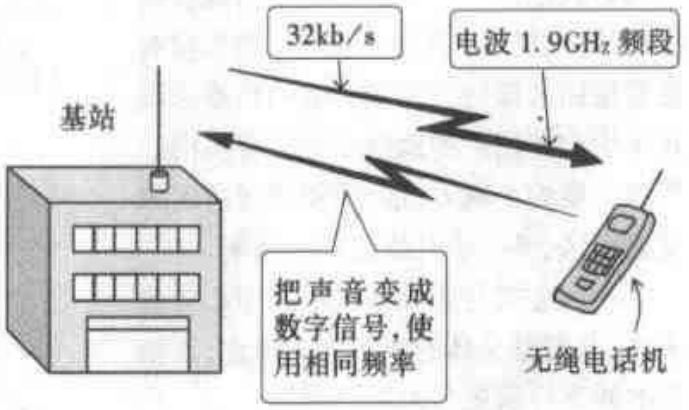
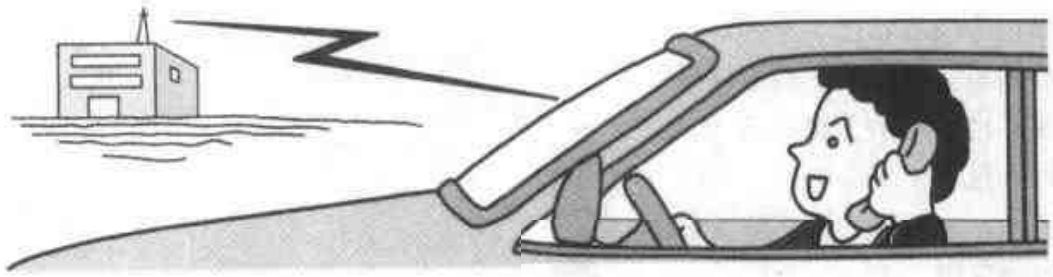


图 4　PHS 的频带

Let's review!

1. 模拟无绳电话系统中，母机发射的无线电波的通信功率大致多少毫瓦以下?
2. 模拟无绳电话和汽车电话、手提电话之间，如果要举出一个大的不同点，那该是什么?
3. PHS 是模拟方式还是数字方式?
4. PHS 的频段是多少 GHz?

汽车电话



移动通信的基础

汽车电话和手提电话的普及，令人瞠目而视。进行这种移动通信时，在用户所在的服务区域的中心装有天线。用户即使移动但只要还在这个区域内，就能收到来自天线的无线电波。这就是移动通信的基础，其关系显示在图 1 中。

天线发射的无线电波能到达的区域称为有效区。一个有效区中移动通信机（汽车电话机、手提电话机等）的数量有逐渐增加的倾向，要用一定的频率来满足区中全体用户的通信是很不容易的。所以，要缩小有效区的面积将服务区域变成小区，多个小区使用同一频率。

小区方式与在服务区域的中心装置天线、与覆盖全体的大区方式相比，所给定的频率可供更多的用户利用。

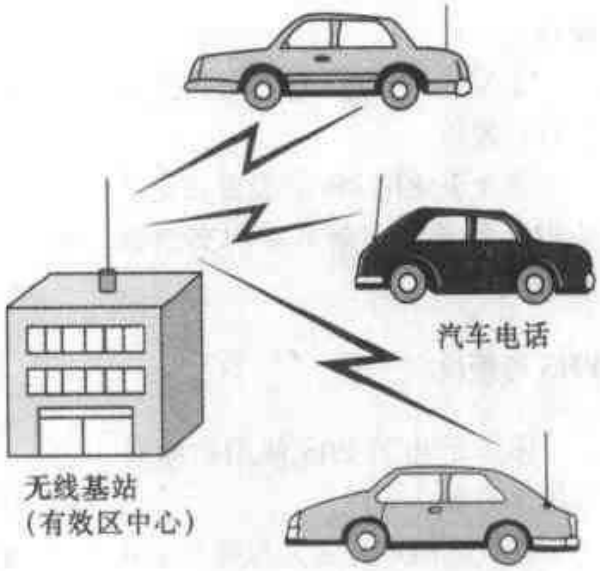


图 1　移动通信

小区的构成

图 2 说明了小区是如何构成的。图中 A、B、C、D 分别表示不同频道的小区。使用相同频道的小区如图配置时，由于多次反复使用限定的频道，覆盖的范围得以扩展。这样就可以有效地利用给定的频率和频道。

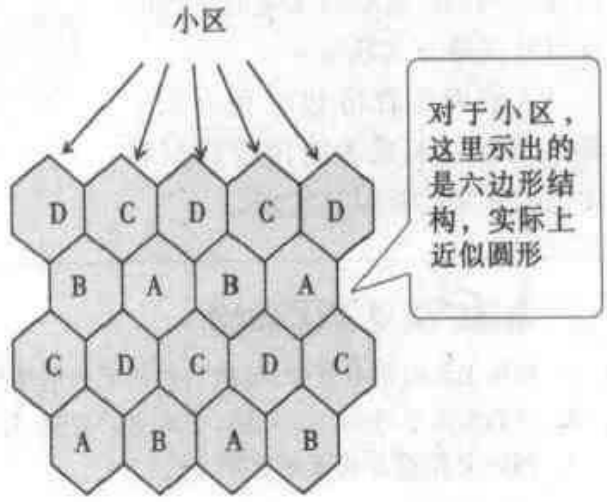


图 2　小区的方案

什么是频道

通信用的线路就叫做频道。为了充分利用给定的频段考虑了多种方案。

一种方案是频分多路复用方式。如图 3 所示，将给定的频段以一定的频率间隔分割成 f_1、f_2、f_3 等多个频道，各汽车电话各自选用一个未被选用的频道。

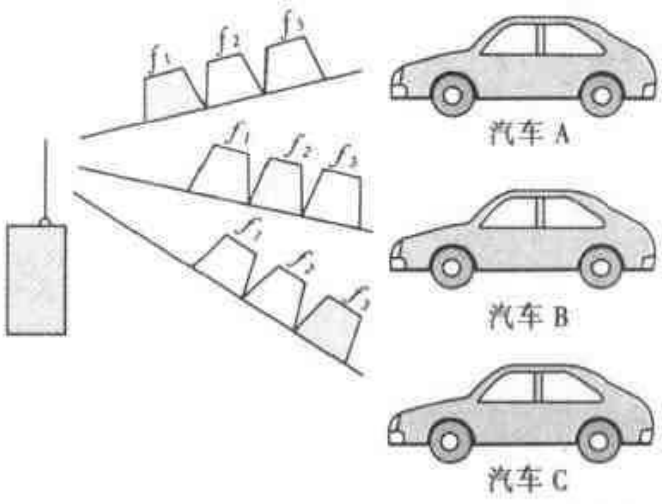


图 3　频道

NTT 最初是将 15MHz 的带宽以 25kHz 的间隔进行分割。所以 15MHz(15000kHz) ÷ 25kHz = 600，得到 600 个频道。但是由于用户增加了，就又以 25kHz 的二分之一即 12.5kHz 的频率间隔进行分割，15000 ÷ 12.5 = 1200，即得到 1200 个频道。这样一来，随着频道的增加，小区的半径就从以前的 5 ~ 10km 变为 3 ~ 5km 的程度，方便了更多的用户。

区间移动

必须考虑到汽车常常处于运动中。假设汽车现在在 A 区通了话，一进入 B 区，当然天线 B 的电波要比其它天线的强，就要把频道切换到能够接收 B 天线电波的频率上，以保持继续通话(图 4)。

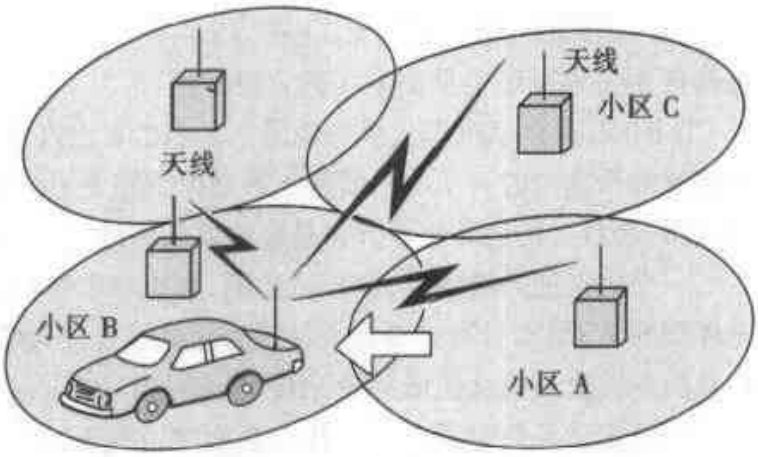


图 4　区间移动

Let's review!

1. 汽车电话通信中，天线发射的无线电波传送的范围叫什么？
2. 小区的优点是什么？
3. 在同一服务区域的小区中有无使用相同频率的？
4. 将某一频带分割成几个频率的通信方式叫什么？
5. 通信用的线路叫做什么？
6. 汽车电话和手提电话的原理相同吗？

11 汽车导航



自动导航驾驶 Car-navi



图 1 自动导航驾驶仪

Car-navi 即 Car-navigation。Car 不用说是指汽车，navigation 原意为航海术，转而成为船、飞机等的自动操纵的意思。如今，则更是指能够知道自己所驾驶的汽车的位置的“自立航法”。

Car-navigation 被简称为 Car-navi。Car-navi 就是使用美国军事卫星测量距离，将数据存入 CD-ROM，在显示汽车位置的地图上显示出自己汽车现在所在位置的装置。该自动导航装置的最重要的一个应用就是正确把握道路交通信息。例如，在高尔夫球场、滑雪场的介绍、名胜古迹的导游等方面是很重要的软件。

一个优良的导航装置，应该是地图、音乐和收音机一体化的装置或者是地图和电视一体化的装置，而且有必要使其发展为能够综合交通堵塞、施工或交通事故等道路交通信息的道路交通信息通讯系统 VICS(Vehicle Information Communication System)。

为使自动导航装置正常工作，必须知道汽车的行驶方向。为此就有必要依据地磁传感器、陀螺传感器、车辆速度传感器以及全球定位系统等来检测方向。

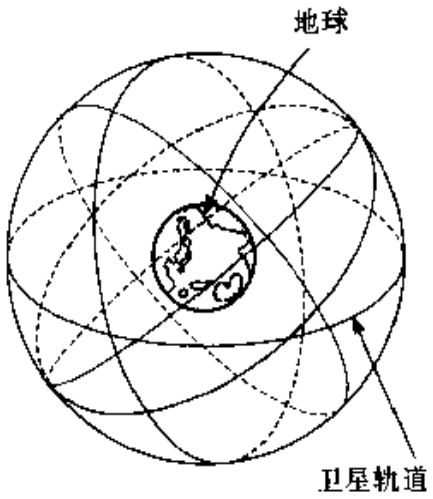


图 2 GPS 卫星轨道

●地磁传感器 该传感器可利用地磁针原理测得绝对方位，但要注意大楼以及铁桥的影响。

●陀螺传感器 该传感器能正确检出汽车的角速度。但是位置的检出较困难。

●全球定位系统 GPS(Global Positioning System) 图 2 表示 GPS 卫星的轨道。离地球大约两万公里的高度，有六个不同的轨道，各轨道上有三个卫星，共计发射有 $6 \times 3 = 18$ 个卫星。

导航原理

GPS 卫星上装有走时精确的原子钟，根据与此同步的时钟及汽车上计算机时刻信号间的收发信时差可以知道无线电波的传送时间，从而求得汽车的位置。

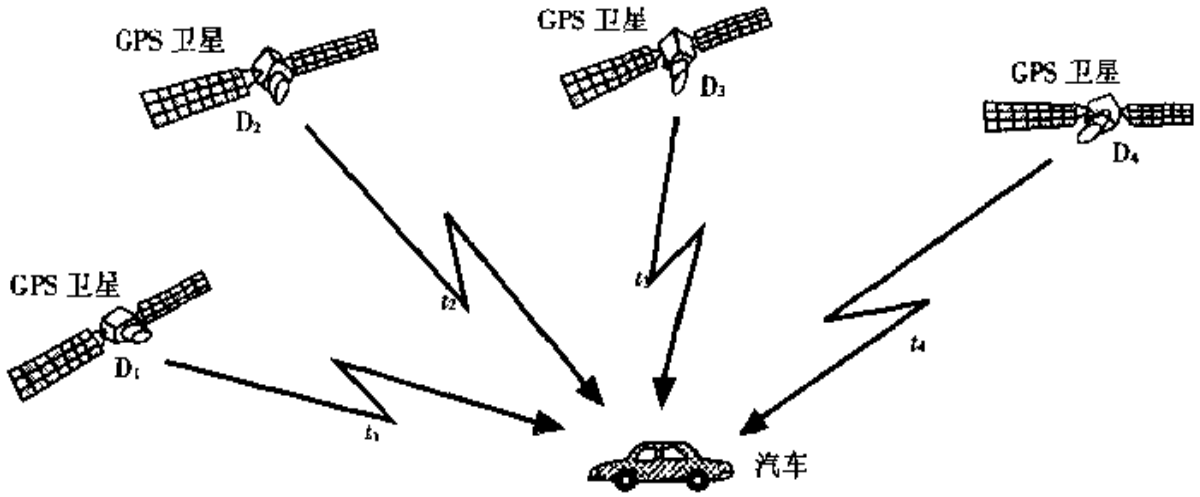


图 3　导航原理

这里，设 4 个卫星 D_1、D_2、D_3、D_4 的位置分别为 (X_1, Y_1, Z_1)，(X_2, Y_2, Z_2)，(X_3, Y_3, Z_3)，(X_4, Y_4, Z_4)，按汽车的基准时标计得的时间分别为 t_1，t_2，t_3，t_4，光速为 c，接收机的时间滞后量为 Δt，则有下式：

$$c \cdot (t_1 - \Delta t) = \sqrt{(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2}$$

$$c \cdot (t_2 - \Delta t) = \sqrt{(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2}$$

$$c \cdot (t_3 - \Delta t) = \sqrt{(X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2}$$

$$c \cdot (t_4 - \Delta t) = \sqrt{(X_4 - X_u)^2 + (Y_4 - Y_u)^2 + (Z_4 - Z_u)^2}$$

其中，X_u，Y_u，Z_u 是表示汽车位置的坐标。这个方程组中，未知数为 X_u，Y_u，Z_u 和 Δt，解此方程组即可求得汽车的位置。

这样，用 4 个 GPS 卫星，可从 4 个方向同时接收检测无线电波，据此，计算机除可算得前后左右位置及高度，还能算得速度。

汽车导航装置从市面上买来后即可利用上述的 GPS 系统。现在使用 GPS 是免费的，将来是否收费还不得而知。

Let's review!

1. Car-navi 的正式名称是什么？
2. 何为 VICS？
3. 全球定位系统是利用什么实现的？
4. GPS 卫星有几个？离地面多高？
5. 光速乘时间等于什么？
6. 装在 GPS 卫星上的钟是什么钟？



12 传 真



一张 A4 的原稿一分钟就能传完

传真，19 世纪中叶英国发明，1925 年美国贝尔研究所发明了实用机。1928 年日本的丹羽保次郎发明了自己的图片电送装置。之后经精心研究，现在普及很广的 G3 传真机，能够在一分钟之内传完一张 A4 的原稿。为显示其传送时间，G3 机也叫一分钟机。

表 1

机种	使用的通信线路	信号方式	传送时间
G1	电话线	模拟	约 6 分
G2	电话线	模拟	约 3 分
G3	电话线	数字	约 1 分
G4	公共数据线	数字	约 4 秒

表 1 总结了传真机的开发情况。随着 ISDN(服务综合数字网)的普及，G4 机的使用可望增加。G4 机使用高速数字网，一张 A4 的原稿就那么 3～4 秒钟即可传完，据说分辨率与复印机的复印稿差不多。

传真的原理

图 1 示出了传真的原理。如图所示，将要发送的原稿，分成细小的部分(这一个一个的部分叫做像素)，按箭头的指向从左向右、从上向下进行扫描。所谓扫描，就是按一定的顺序分解再组合的操作。

将各个像素按其浓淡变为电信号，通过用户电话线以及公共数据线将其传送到接收方。

在接收方，对应送来的电信号，将其作为图像组合在接收装置的记录纸上，图像接收即告完成。

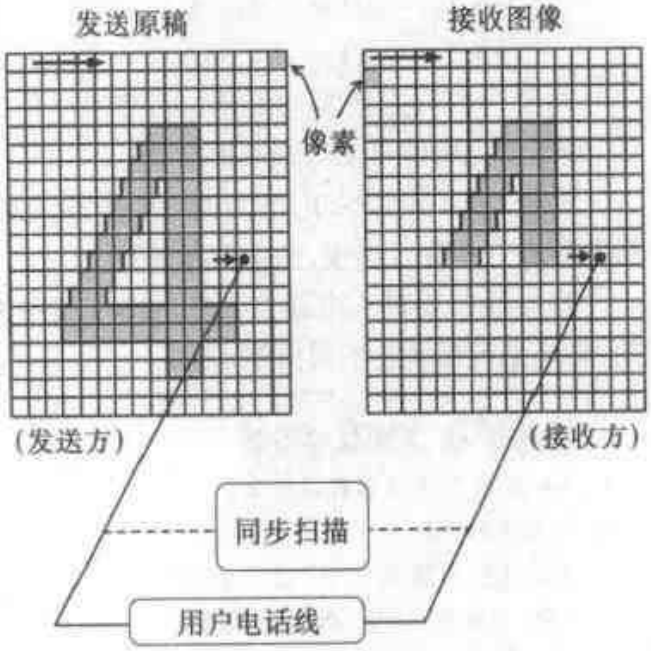


图 1 传真的原理

发送方分解画面的操作时间与接收方组合画面的操作时间相一致是很重要的，这叫做同步。

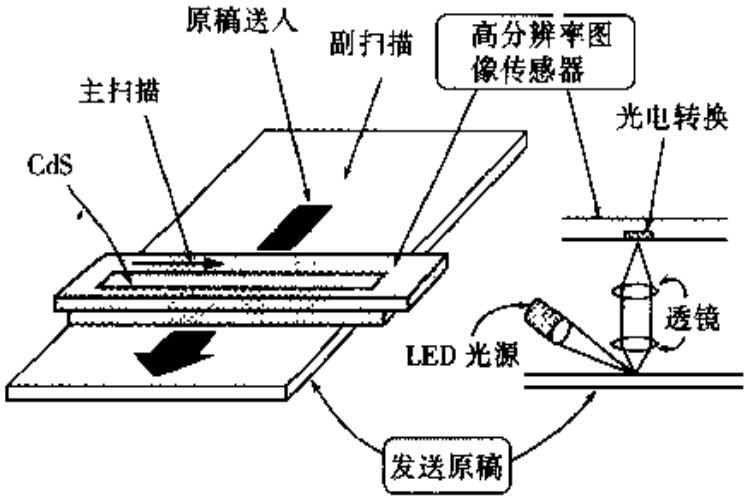


图 2　电子平面扫描方式的原理

电子平面扫描原理

图 2 是电子平面扫描方式的原理图。

如图所示，有横向的主扫描和纵向的副扫描。在主扫描方向上排列有 CdS（硫化镉）电池，该电池阵列的宽度需与原稿宽度相同。当然电池一个一个都与像素相对应。CdS 电池的内阻随 LED 光源来的反射光的明暗而变化。于是，文字与图像里，反射光就弱，白的地方反射光就强，CdS 电池的电阻就随此反射光变大变小。如果加一电压给 CdS 电池，其电流就随反射光的强弱而变化，这样每个像素就变成了电信号。再通过传送线路将此电信号送往接收方。

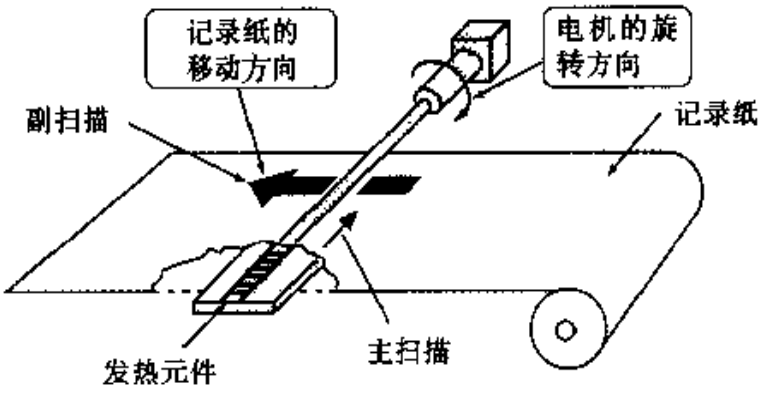


图 3　感热记录原理

接收方如何记录

接收方使用感热纸再现送来的电信号。

按照送来的电信号对发热列阵元件加热，与加热部分接触的记录纸的颜色会发生变化。

Let's review!

1. G3 传真机的传送时间大约多少？按照这一传送时间，G3 机的别名叫什么？
2. 发送方和接收方像素的分解和组合时间相一致叫做什么？
3. 何谓主扫描？何谓副扫描？
4. 光照在 CdS 上时什么会发生变化？
5. 电流流经发热列阵元件时会发生什么？

13 电视会议



电视会议系统 I

先来看看一般的会议。将与会议主题有关的一些成员召集到会议室，提案人发放资料，使用光学投影仪进行说明。与会成员提向、发表修正补充意见，然后得出主题的结论。

电视会议系统，就是使用通信网，与远处部门的一些成员进行与此同样的会议。所使用的通信网就是综合业务数字网 ISDN。

图 1 是电视会议系统的概念图。电视会议时能看到正在发言的对方的脸，就像对方在同一会场中，这一边的也能发言。所以就需要传送声音的麦克风、喇叭，能对发言者和自己的脸进行拍摄的摄像机、摄像机监视器以及将这些结合起来接入综合业务数字网的耦合器。

今后的电视会议的介绍将用文字、照片、图画、动画来进行。提案人要说明自己的想法，最重要的就是要有说服力以征服对方。为此，当然有必要采用一切手段进行介绍解

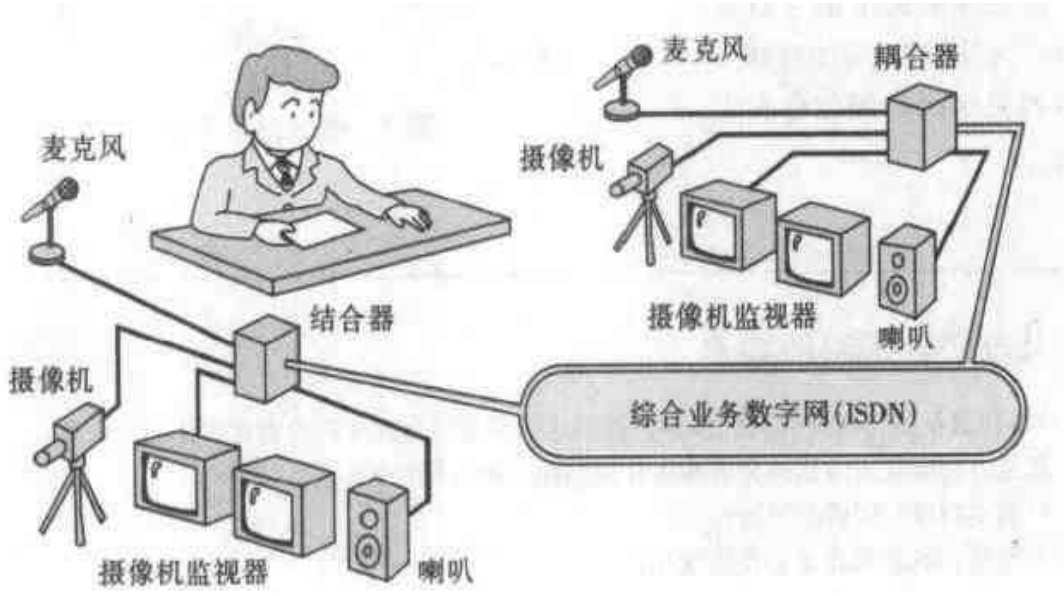


图 1　电视会议系统概念图

说。

为实现这样的电视会议，就需要传送高质量图像和声音的技术，以及具有收发、存储信息功能的终端。作为为此服务的通信网，一直在研制宽带综合业务数字网。

电视会议系统 II

图 2 也是电视会议系统，如图所示，前面有几台电视机，除去显示发言者的电视机外，还设有资料用电视机（资料从对方送来），电子黑板用电视机、摄取这边图像的电视摄像机、喇叭（大、中、小口径都有，以便真实播放低中高音）等。

资料用电视机用以显示对方桌子上的资料；作电子黑板用的电视机用于显示对方电子黑板上的图像。

这边准备有个人计算机，以备必要时发送存在软盘上的资料以及接收对方的资料。为了收发需要复印的资料，还准备有传真机。

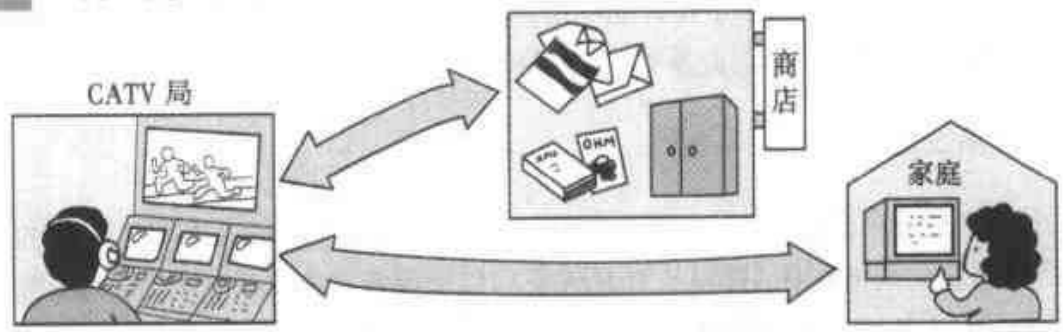


图 2 电视会议系统

Let's review!

1. 电视会议在什么样的物理条件下使用？
2. 电视会议的介绍解说使用什么形式的信息？
3. 使用电视会议系统时所用的通信网叫什么？
4. 电视会议系统中必需的主要机器是什么？
5. 电视会议系统中备有各种机器和装置，发传真机干什么用？

14 有线电视 CATV 和 VOD



有线电视的产生

有线电视 CATV 原用于电视台发射的电波难以到达的地区，是一种解决偏远山区收看电视困难的对策。在这样的地区，在山上立一个公用天线，用同轴电缆将收到的电视节目送往各个家庭。

以上是指日本。美国由于国土辽阔，收视困难的地区也多，所以很早就普及了 CATV。现在全国有 70% 的地区加入了 CATV。

CATV 是 Community Antenna Television 的简称。当时纯粹是电视播放的再传送，后来还能用于其它目的，就成为 Cable Television 的简称。

何谓 CATV

图 1 是 CATV 的概念图。如图所示，在播送中心，用 BS 天线和 CS 天线接收卫星播送和通过卫星通信传来的无线电波，经信号放大处理，用传送装置送往各家各户。传送信号的通道使用称为同轴电缆的电线，远距离传送时信号会减弱，所以要在途中设置放大器以增强衰减了的信号。

还有，不仅仅可以播放卫星传来的节目，还可以安装自己的播送系统进行自主播放。

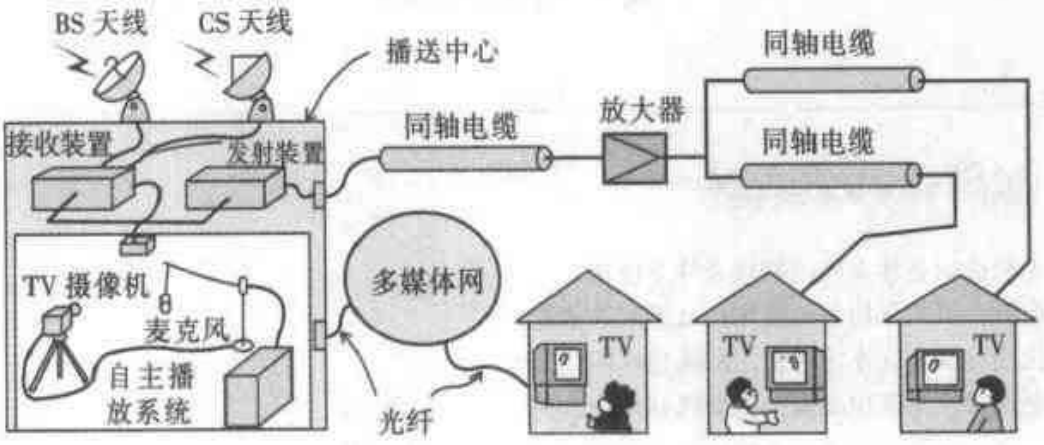


图 1 CATV 的概念

双向传送

CATV 从播送中心到各家各户，用同轴电缆传送电视信号。图 2 所示为向一个方向传送，这叫做单向传送。另一方面，从各家各户往播送中心也能传送信号时就叫做双向传送。

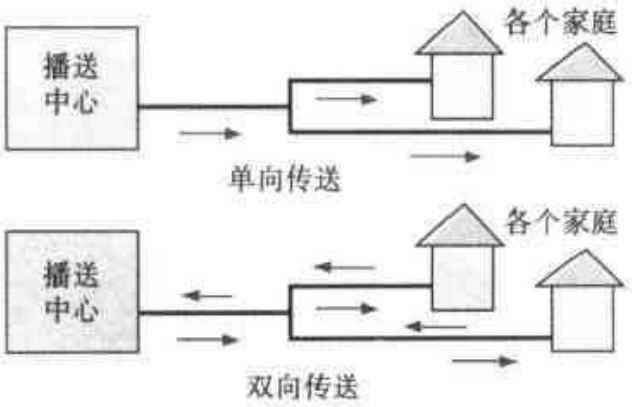


图 2　单向传送和双向传送

与无线电波相比，同轴电缆具有很大的传送容量。因此，比起使用无线电波可以传送更多的通道。但是，比起同轴电缆，光缆更是具有不同数量级的容量，当然现在都想用光缆来构筑信息高速公路。

按需放像

按需放像（VOD）是一种任何时候都能看到想看的录像的系统。费用按观看时间(分钟)支付。这是一个双向传送系统。用户向中心预订所希望的影片，中心将影片传送给用户(图 3)。

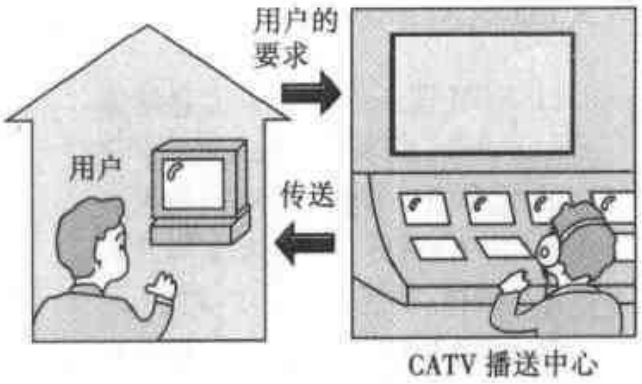


图 3　按需放像

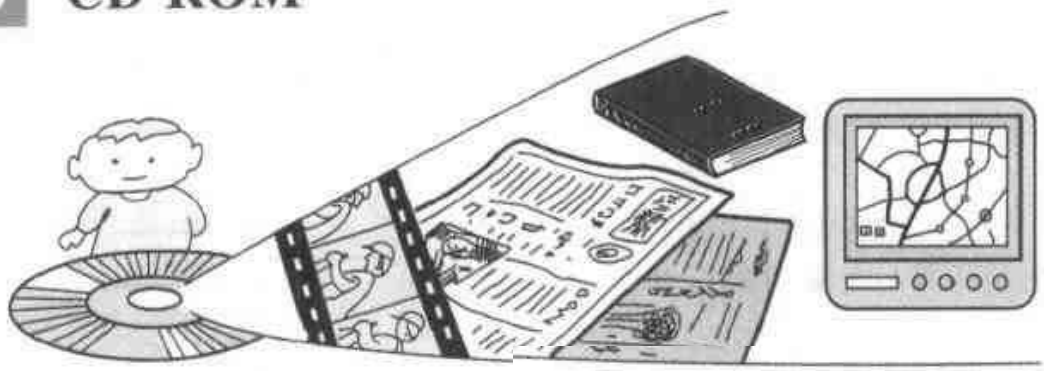
何谓"按需"

"按需"(on demand)原意为"根据要求"的意思，现演变为"有求必应"。多媒体的定义各式各样，但是多媒体的关键词可以说就是这个"有求必应"。还有，"有求必应"的信息可以是新闻、天气预报、烹饪、健康、经济、法律、体育、娱乐、旅游、教育、学习、技术、交通、饭店预约等多方面的。

Let's review!

1. CATV 当初用于什么地方？
2. CATV 用同轴电缆将信息从播送中心送往各家各户，传送线路除同轴电缆外还可以用什么？
3. 播送中心到各家各户一个方向传送信息的传送方式叫做什么？
4. VOD 是什么？
5. 所谓"on demand"，是什么意思？

15 CD-ROM



收入 CD-ROM 中的信息

CD-ROM 即压缩光盘只读存储器(compact disc read only memory)，它记忆容量大，信息保存性好。因此，作为记录声音、文字、图形、静画、动画等的数字信号的媒体，受到普遍关注(图 1)。

收入 CD-ROM 中的信息，有汽车导航图、报纸、书籍、游戏、音乐、电影、照片、电视等，范围极宽。

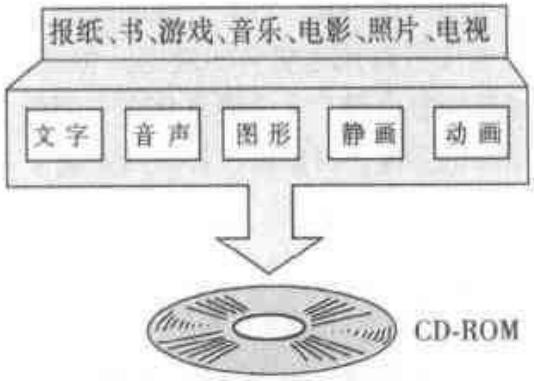


图 1 收入 CD-ROM 中的信息

CD-ROM 的制造方法

为制作 CD-ROM，首先要作成想记录的信息(文字、声音、图形、静画、动画等)的数据文件。然后，使用信息编辑系统进行文字、图像、声音合成。其结果存入硬盘或光盘。

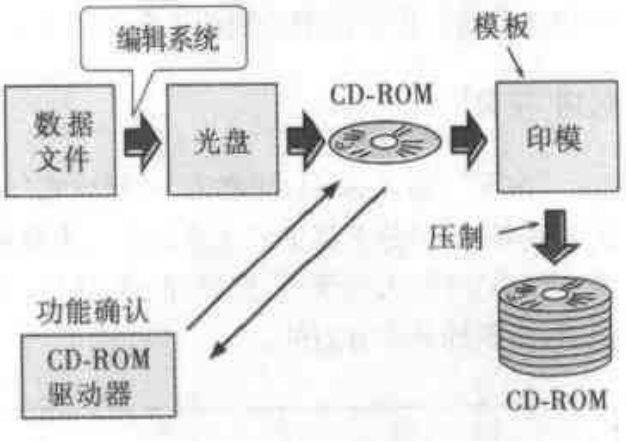


图 2 CD-ROM 的制作

光盘上保存的数据，与所期望的 CD-ROM 制品的功能相同。所以，至此可以说有关制品开发的实质性工作已经完成了。剩下的工作就是压制作业。压制前为确认 CD-ROM 的功能是否正确还要用 CD-ROM 驱动器检查。如无异常，就制作叫做印模(stamp)的模板，以用于压制工程(图 2)。

CD-ROM 和游戏机

通过 CD 放音机、个人计算机可将 CD-ROM 中的信息还原出来。即需将 CD-ROM 中

记录的文字、声音、图像等信息变成数字信号，再将此信号变成模拟信号，信息才能还原再生。另一方面，游戏机也正在普及，游戏机不仅仅用于游戏，也能用数据 CD-ROM、卡拉 OK CD-G(G 为图像)以及音乐 CD 等，也可以使用音乐、电影、电子书籍等软件。当然，人们也期待着能用来进行数据库检索及家庭理财(图 3)。

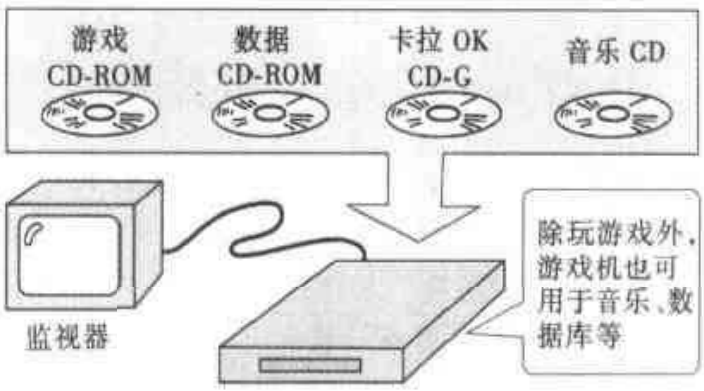


图 3　CD、CD-ROM 和游戏机

CD-ROM 和电子出版

将书等书籍杂志信息放入 CD-ROM 及软盘等电子媒体作为出版物，一般称为电子出版(图 4)。

利用统一的 CD-ROM 写入格式，制作简单放像机也能读的微型 CD，照此方式出版电子读物也很活跃。

电子读物和音乐 CD、计算机等用的 CD-ROM 构造完全相同。

电子读物的制作方法为：使用电子读物制作软件，输入来自文字、声音、静画、动画各文件的信息进行编辑。编辑结束后请 CD 服务公司制成 CD-ROM。

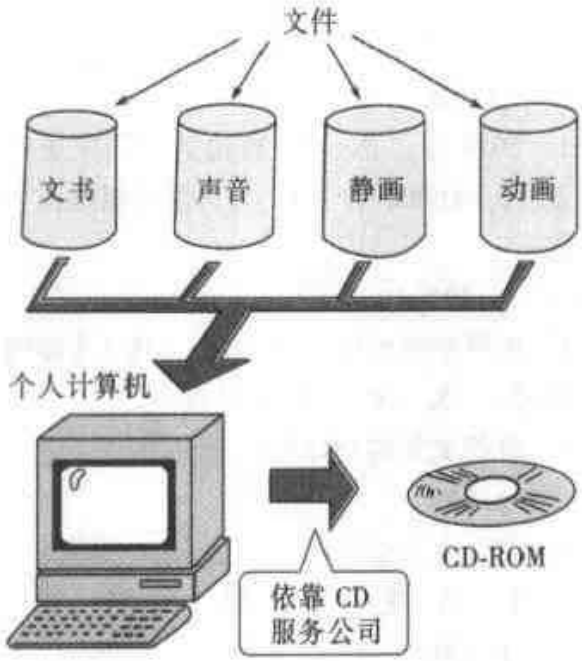


图 4　电子出版

除 CD-ROM 形式的电子读物外，也有利用软盘实现的数字图书以及在线出版。

Let's review!

1. CD-ROM 中记录的信息，除文字和图形外还有什么？
2. 在 CD-ROM 制作时，编辑软件的作用是什么？
3. 未来，游戏机还可能用于游戏以外的媒体吗？
4. 何为电子出版？

Let's review! 的答案



☞ **p. 221**

1. 文字,声音,图像　2. ISDN

3. 血压　4. 电子样本目录

☞ **p. 223**

1. 血型,既往病史,药品副作用的有无

2. 福利设施　3. 大学的收藏品，文化遗产,文献情报等　4. 电子货币

☞ **p. 225**

1. 2010 年　2. CATV 比其它国家更普及　3. 16000 倍　4. 与头发的粗细差不多

☞ **p. 227**

1. 网络中的网络　2. 五角大楼（美国国防部）　3. 3W　4. 电子邮件

5. 将英文实时翻译为日语

☞ **p. 229**

1. 综合业务数字网　2. narrow,broad

3. 能　4. 能　5. 不能　6. 能

☞ **p. 231**

1. 键盘,鼠标器　2. 处理装置

3. 显示装置,打印机,键盘,主机

4. 软件　5. 一太郎,花子等　6. 10 分

☞ **p. 233**

1. 电子邮件,电子布告牌,电子会议

2. CUG　3. 能

4. 用户实时交换信息

☞ **p. 235**

1. 无线电波　2. 800MHz 频带

3. 1000000Hz　4. 能增加通道数

5. 无线电波弱时信息质量变坏

6. 无线电波即使弱到某种程度信息质量也不变坏

☞ **p. 237**

1. 10mW

2. 无绳电话的应用范围为室内

3. 数字方式　4. 1.9GHz 频段

☞ **p. 239**

1. 有效区域　2. 可增加用户数量

3. 有　4. 频分多路复用

5. 频道　6. 相同

☞ **p. 241**

1. 汽车自动导航

2. 道路交通信息通信系统　3. GPS 卫星

4. 约 2 万公里上空共计 18 个

5. 距离　6. 原子钟

☞ **p. 243**

1. 约 1 分,1 分机　2. 同步

3. 横向扫描叫主扫描，纵向扫描叫副扫描　4. 电阻　5. 记录纸变色

☞ **p. 245**

1. 远离者开会

2. 文字,照片,图形,动画等　3. ISDN

4. 电视摄像机，电视接收机，麦克风，传真机等　5. 收发需要复印的资料

☞ **p. 247**

1. 收视困难地区　2. 光缆

3. 单方向传送　4. 按需播放录像

5. 有求必应

☞ **p. 249**

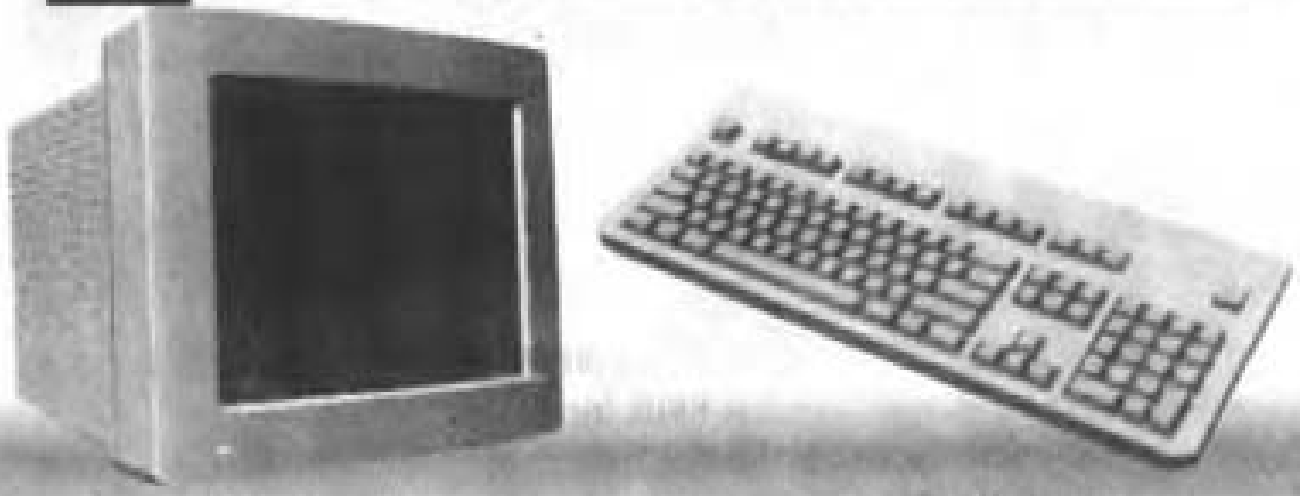
1. 声音,图像

2. 文字、声音、图像等合成

3. 是可能的

4. 用电子媒体（软盘、CD-ROM 书）出版书籍杂志的信息

8 3级信息技术基础等级考试教程



科学技术在快速发展，特别是信息处理技术、电子学、新器材、系统技术等技术革新在企业界各领域发展迅速。

为适应社会的这种变化，修订了中专学校教学大纲，规定在工业专科学校第1学年要学习"信息技术基础"。

此前日本全国工业专科学校校长协会（以下简称全工协会）一直实施着与信息技术有关的"信息技术等级1级、2级、3级"的等级考试。

本章内容是为要参加3级"信息技术基础"考试的学生们编写的。编写中力求易懂。学习工业技术的一种有效手段就是所谓的以资格考试合格为目的的学习。

作者注意到以下几点：

1. 作者阅读了至今出版的所有"信息技术基础"教科书，对有关重要内容，均给予了简明易懂的叙述。

2. 将图及说明插入适当的地方以帮助理解。

3. 采用重要内容的叙述与解题并行的方法，互相对照，以便学习。

信息技术基础研究会



1 “信息技术基础”的目标

该课程的目标，教学大纲中记述如下。

随着社会信息化的发展以及对计算机作用的理解，培养学生掌握有关计算机的基础技术，并使其具有实际运用这些技术的能力。

现代社会是高度信息社会，计算机及其相关技术广泛用于工业各部门。由于有如此的背景，因而新设此课程，以使学生掌握信息有关的基础知识和技术。

2 “信息技术基础”的内容

“信息技术基础”要讲述的内容，包括以下五个方面。

(1)编程

有关这方面的学习内容有：计算机的功能和构成、程序的作用、程序语言、基本编程、程序及数据的保存和安全等。

其中，作为基本编程，列举了编程的顺序、流程图、数据的输入输出、直线的处理、判断和循环处理、函数的使用方法、矩阵的处理方法、子程序、图形的画法、文件的处理方法等。

其次，还要介绍有关程序与数据的存放和安全，从保护软件著作权、私人秘密、私人信息等内容，以培养对程序和数据的正确处理态度。

有关学习方法，可以说该考试的中心内容就是这些内容，所以对于下列各项，一定要反复学习。

1 计算机的构成

学习输入、存储、运算、输出等装置的功能及相互间的关系，理解这些装置和人的眼、手、足、口、脑间的对应作用，学习 ROM、RAM 等术语。

还要理解作为外设的输入装置的鼠标器、光笔、CR、OCR、OMR，作为输出装置的打印机、CRT 显示器、X-Y 绘图机等。

2 编程顺序

作为编制程序的步骤，要理解算法、流程图、编程、试运行、实际运行以及相关术语（差错、调试）。

③流程图

要考虑到考试时一定会有关于流程图方面的考题，所以有必要进行充分训练。

画流程图，要理解流程图用图形符号，流程图中有直线型、分岔线型（单岔选择、双岔选择）、循环线型。针对某课题，画一下确实能用的流程图。

④编程

首先要理解使用 BASIC 的直通型编程。顺便还要会使用数学函数。

其次，要理解 READ-DATA、GOTO、ON ~ GOTO、IF ~ THEN、FOR ~ NEXT 等语句，并会使用它们。

(2)硬件

与此相关，要学习数据的表示方法、逻辑电路基础、处理装置的构成和动作等。

①数据的表示方法

介绍数的表示和计算，具体讲，就是 2 进制数和 16 进制数。

即，介绍 2 进制数和 16 进制数的含义，在理解 2 进制数与 10 进制数、16 进制数与 10 进制数之间关系的基础上，将 2 进制数变为 10 进制数、将 16 进制数变为 10 进制数以及各自相应的逆变换。熟练掌握这些是很重要的。



也要理解 2 进制数的加减乘除运算。并要学习用 2 进制数表示 2 的补数、文字、符号、数字的方法（JIS 文字编码表）。

②逻辑电路基础

基本的逻辑电路有与、或、非电路。还有与非、或非电路。

在将这些逻辑电路与电灯线路对应讲解的基础上，学习各逻辑电路的真值表。会用 MIL 符号画逻辑图。

要理解使用与非电路可以构成与、或、非电路。使用或非电路同样也可以，还可能会省一点。

还要学习异或电路、半加电路、全加电路。

(3)软件

介绍操作系统基础及应用软件的应用。

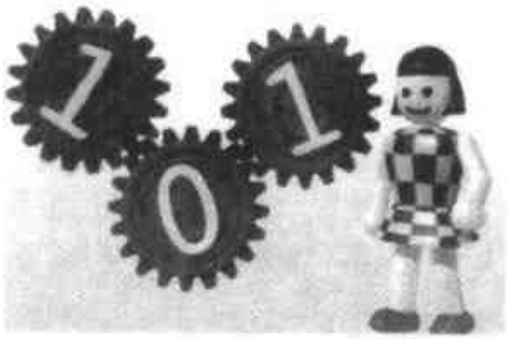
(4)控制、通信

作为计算机控制，要学习传感器、驱动器、接口、计算机控制实践等。有关通信，要学习数据通信概论、计算机网络等。

(5)计算机及其应用

介绍计算机的历史和特征，计算机的应用情况，计算机的使用与健康等。

计算机的历史



要寻找计算机的起源，就会追溯到帕斯卡发明的齿轮式加减计算机，这台计算机是1642年做成的。其后，莱布尼茨改良了帕斯卡的计算机，使其也能进行乘除运算。这一成果发表于1694年。

1822年，巴拜基开发了称为"巴拜基解析机"的自动计算机。这个计算机已经具有了利用今天已经成为计算机基础的程序进行控制的想法。

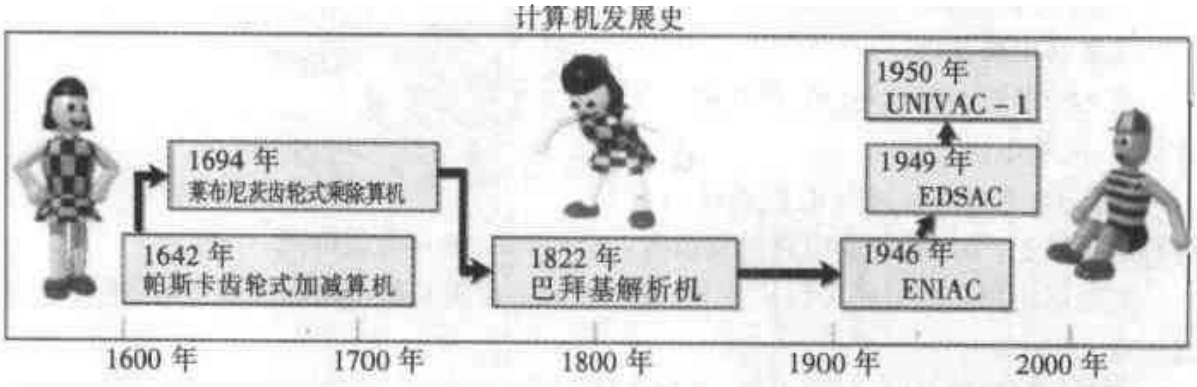
1946年，美国宾夕法尼亚大学的艾卡托和摩库利，使用电子器件开发了称为ENIAC的计算机。这台计算机，共使用了18800只电子管（真空管），1500个开关，是一个总重30吨的庞然大物。

1949年，剑桥大学开发了程序内藏方式的EDSAC，第2年的1950年，宾夕法尼亚大学制成了实用型的计算机UNIVAC-1。



ENIAC计算机

计算机发展史



1950年～UNIVAC-1，使用电子管的时代 ——→ 称为第1代
1957年～使用晶体管的时代 ——→ 称为第2代
1964年～使用集成电路(IC)的时代 ——→ 称为第3代
1972年～使用大规模集成电路(LSI)的时代 ——→ 称为第3.5代
1981年～使用超大规模集成电路(VLSI)的时代 ——→ 称为第4代
200X年～使用极高速工作的"新器件"的时代 ——→ 称为第5代
（例如可以考虑使用约瑟夫森器件）

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（）中。

（1）追寻计算机的起源，可以追溯到（①）发明的齿轮式加减计算机。

（2）莱布尼茨改良了加减计算机，开发了也能（②）的计算机。

（3）1822 年，发表了具有今天已成为计算机基础的程序（③）想法的巴拜基解析机。

（4）美国的宾夕法尼亚大学的艾卡托和摩库利，使用 18800 只电子管、1500 个开关制成了巨大的计算机，这个计算机叫（④）。

（5）1949 年，剑桥大学开发了（⑤）内藏方式的 EDSAC 计算机。

（6）1950 年，宾夕法尼亚大学制成了实用型的计算机，这台计算机叫（⑥）。

[答案集]

A. ENIAC　B. 乘除运算　C. 程序　D. 帕斯卡　E. UNIVAC-1　F. 控制

问题 2

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（）中。

（1）ENIAC 和 UNIVAC-1 使用的电子元件是（①）。

（2）计算机使用的电子元件，从电子管到 1957 年以后的晶体管，直至集成电路（IC）应用以前的时代称为第（②）代。

（3）计算机使用的电子元件，从晶体管到 1964 年以后的 IC，直至用到大规模集成电路（LSI）前的时代称为（③）代。

（4）所谓第 3.5 代计算机，指的是计算机用的元件，从 IC 到 LSI 的 1972 年以后，直至（④）前时代的计算机。

（5）所谓第 4 代计算机，指的是计算机用的元件，从 LSI 开始到超 LSI 的 1981 年以后，直至（⑤）前的计算机。

（6）使用极高速工作的电子元件，未来要开发的计算机叫做第（⑥）代。

[答案集]

A. 1　B. 2　C. 3　D. 4　E. 5　F. 电子管　G. 超 LSI　H. 现在

答案 1　①D　②B　③F　④A　⑤C　⑥E

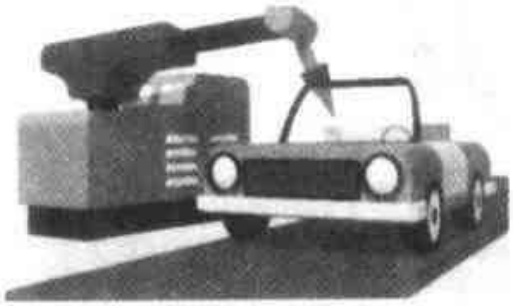
2　①F　②B　③C　④G　⑤H　⑥E

（注）人们一直认为“世界最初的电子计算机是 1946 年美国宾夕法尼亚大学的艾卡托和摩库利制成的 ENIAC”，许多有关计算机的书籍也遵从这一说法。

事实上，应该改为“现代电子计算机的原理是爱依华州立大学的安他那索夫于 1937 年发明的，1941 年和巴托那的拜利一起完成的‘ABC 机械’是世界最初的电子计算机”

还有，美国也于 1973 年确认：“安他那索夫才是计算机这一伟大发明之父”。

2 计算机的应用



计算机不仅用于工业界，一般社会生活中应用也很广泛。

使工业生产自动化，尽可能让机器作功。这叫做工厂自动化 FA(Factory Automation)，用的就是计算机、自动化机器等。

借助计算机进行设计制图，称为计算机辅助设计 CAD(Computer Aided Design)。

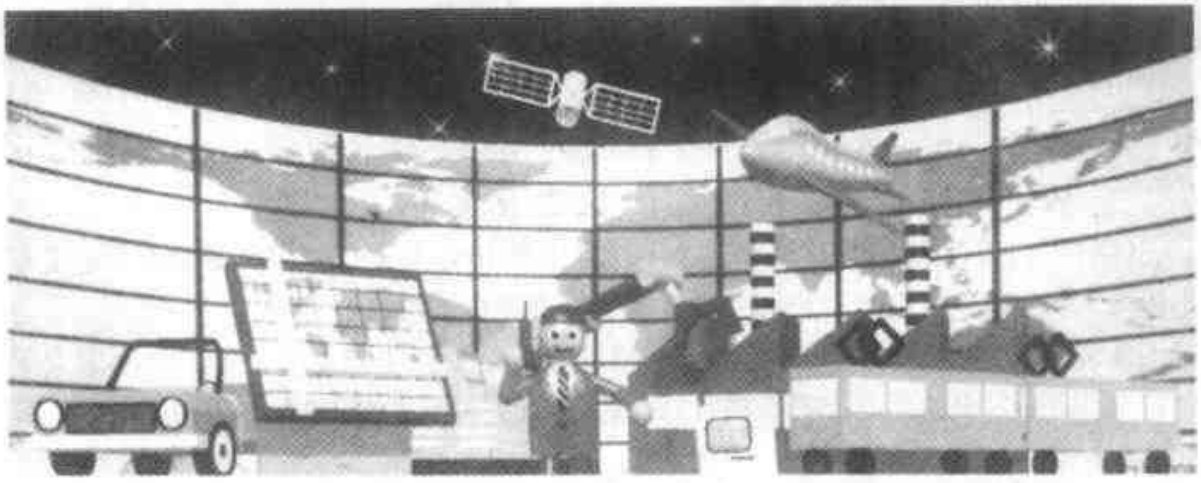
这个 CAD 系统与工业机器人、工作机械连在一起的工作称为 CAD/CAM 系统。CAM 是 Computer Aided Manufacturing 的缩写，意为计算机辅助制造。

另外，在公司和行政机关处理文件中，由于使用计算机提高了工作效率，推进了“自动化”进程。这样的“自动化”称为办公自动化 OA(Office Automation)。商店使用着销售信息管理 POS(Point Of Sales)系统，用以收集店内销售数据、管理顾客的信息等。

此外，计算机还用于：火车飞机的订票，从区域气象观测系统和气象卫星那里将各地的天气、气温、气压、云的移动等数据收集到气象局进行天气预报，医院对患者的健康状况进行计算机管理以作出尽可能正确诊断的诊断系统，交通信号的自动控制，飞机的交通管制等。



办公中计算机的应用



计算机的各种应用

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

（1）在工厂生产中，为了尽量节省人力而借助计算机进行自动化生产。这被称作(①)。

（2）进行汽车、建筑、电气等相关的设计制图时，由于计算机的应用而提高了效率。这种设计方式称为(②)系统。

（3）CAD 系统用于各种工作，将其与数控（NC: Numerical Control）机床连接，将 CAD 系统设计的数据输入 NC 机床，使其自动地生产零件。这叫做(③)。

（4）公司和行政机关的办公室中，为提高办事效率而使用计算机。把这种自动化办公称做(④)。

（5）超级市场的商品上贴有价格编码，用读码机将销售商品的编码送往计算机以收集销售数据叫做(⑤)。

[答案集]

A. POS　B. CAD　C. office automation: OA　D. factory automation: FA

E. CAD/CAM

问题 2

从 B 集的 a ~ e 中选出与 A 集的① ~ ⑤有关的项。

[A 集]

① factory automation

② office automation

③ point of sales

④ computer aided design

⑤ CAD/CAM

[B 集]

a. 利用字处理机、传真机等可提高办公的自动化和效率。

b. 工厂为了缩短设计制图时间节省劳动力而采用的系统。

c. 工厂生产自动化。

d. 利用计算机自动设计制图。

e. 销售信息管理系统利用计算机进行销售量统计和商品在库管理（管理仓库有多少商品等）。

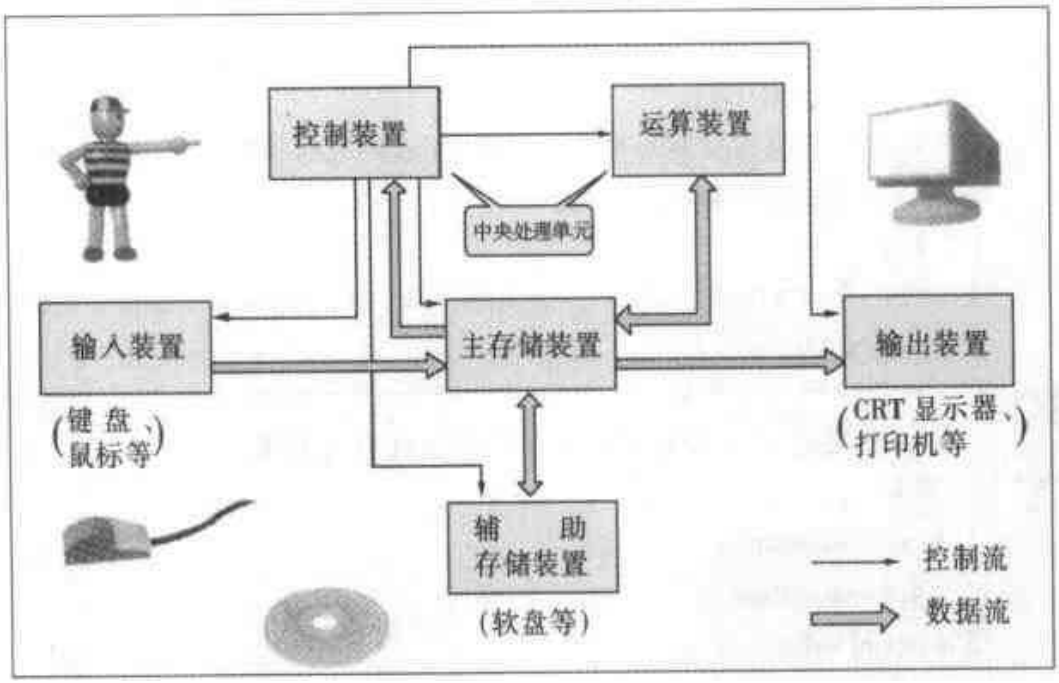
答案 1　①D　②B　③E　④C　⑤A

2　①C　②A　③E　④D　⑤B

3 计算机的构成(1)



计算机的构成如下图所示。



图中所示6种装置中,控制装置和运算装置总称中央处理单元。

● 输入装置　将程序及数据输入计算机的装置(键盘等)。

● 存储装置　存储记忆从输入装置读取的数据和计算结果的装置。这种装置有主存储装置和辅助存储装置两种。

● 运算装置　进行加减乘除计算、比较数值大小的装置。也可称作算术逻辑运算装置。

● 输出装置　显示计算处理结果、打印结果的装置。

● 控制装置　将信号送给输入、存储、运算、输出等装置,控制各装置工作的装置。

将以上5种装置的功能与人的功能比比看,可以认为计算机就是一种具有与人相同功能的系统。

输入装置对应人的眼和耳

输出装置对应人的手、足、口

存储、运算、控制装置对应人的大脑

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

(1) 具有读取数据和程序功能的装置叫(①)。

(2) 记忆读取的数据和程序或计算结果的装置叫(②)。

(3) 进行加减乘除计算、比较数值大小的装置叫做(③)。

(4) 控制计算机各构成装置的装置叫做(④)。

(5) 显示、打印计算结果的装置叫做(⑤)。

[答案集]

A. 输出装置　B. 输入装置　C. 控制装置　D. 运算装置　E. 存储装置

问题 2

从后面的答案集中选一合适的答案，填入下面句子的（ ）中。

(1) 计算机各装置中，主存储装置、运算装置、控制装置总称(①)。

(2) 对存储装置分类时，可分为(②)存储装置和(③)存储装置两种。

(3) 软盘是(④)存储装置。

(4) 键盘和鼠标器是(⑤)。

(5) CRT 显示器和打印机是(⑥)。

[答案集]

A. 辅助　B. 主　C. 处理装置　D. 辅助存储装置

E. 输入装置　F. 输出装置

问题 3

下面的句子将计算机各装置具有的功能和人的身体各部具有的功能进行了比较。从后面的答案集中选一适合的答案，填入句中的（）内。

(1) 眼和耳相当计算机的(①)，口和手相当计算机的(②)。

(2) 相当于运算、存储、控制各装置的是(③)。

[答案集]

A. 心脏　B. 脑　C. 输入装置　D. 输出装置　E. 辅助存储装置

答　案　1　①B　②E　③D　④C　⑤A

2　①C　②A　③B(②B　③A亦可)

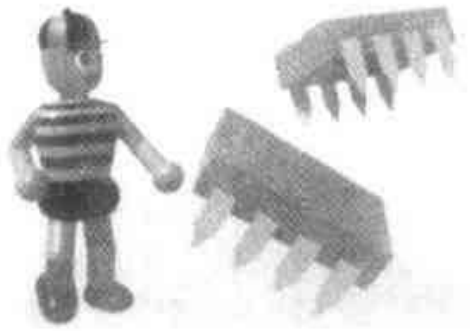
④D　⑤E　⑥F

3　①C　②D　③B

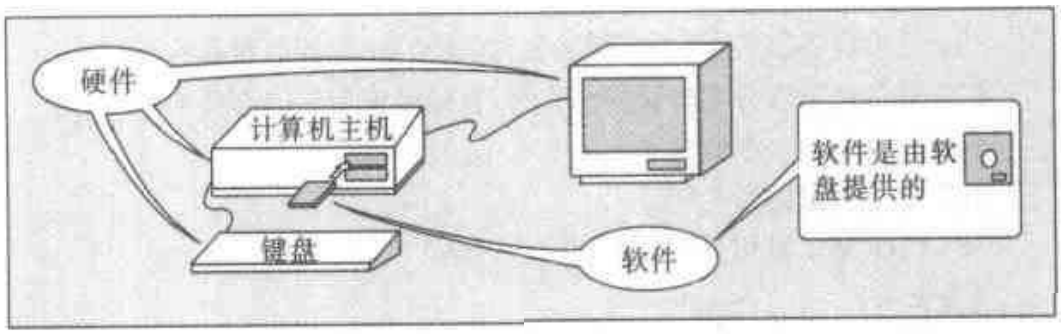


(注) 中央处理单元与主存储装置一起也称为处理装置。

4 计算机的构成(2)



构成计算机的各装置中，控制、运算、存储装置称为计算机的主机，主机与键盘、显示装置、打印机等总称硬件。而各种程序及使用计算机的技术总称软件。

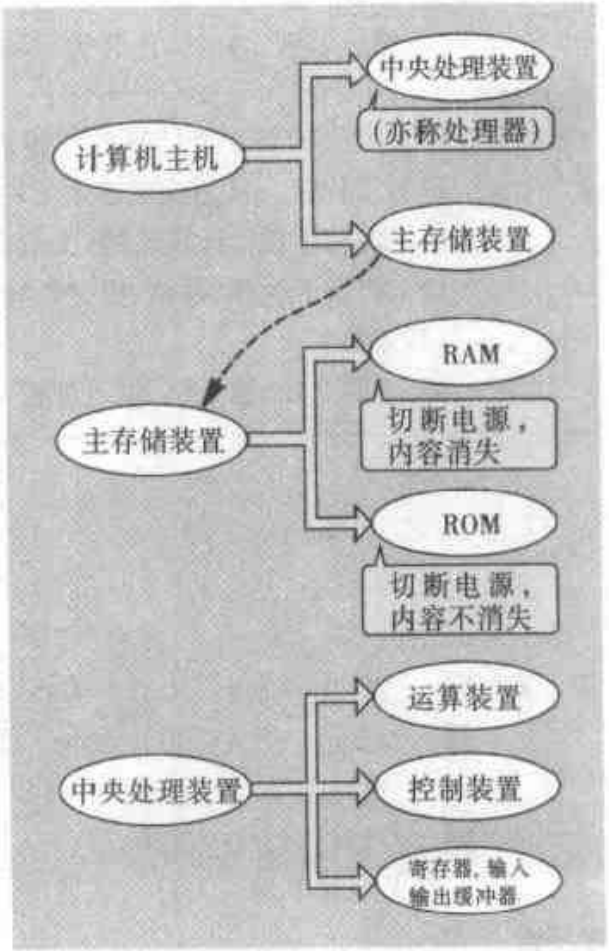


计算机主机是由被称为处理器的中央处理单元和主存储装置组成的。主存储装置由 RAM 和 ROM 组成，也称为内存。

RAM 是 Random Access Memory 的缩写，可读出可写入。切断电源，RAM 存储的内容也随之消失。ROM 是 Read Only Memory，只能读出。即使切断电源，ROM 存储的内容也不消失。

中央处理装置由运算装置（ALU：Arithmetic and Logic Unit，也称算术逻辑运算器）和控制装置、输入输出缓冲器、寄存器等构成。寄存器是临时记忆存储数据等的场所，输入输出缓冲器是为了适应输入输出装置的时序而设置的暂时记忆存储场所。

一般来说，所谓计算机系统是指硬件和软件的统称，也叫数据处理系统。



问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

（1）构成计算机的装置中，控制、运算、主存储装置总称（①）。

（2）计算机主机和键盘、显示装置、打印机等总称（②）。

（3）各种程序及计算机应用技术总称（③）。

（4）主存储装置是由切断电源其内容随之消失的（④）和即使切断电源其内容也不消失的（⑤）组成。

（5）一般将硬件和软件总称为（⑥），其别名为数据处理系统。

[答案集]

A. 计算机系统　B. 计算机主机　C. 硬件　D. 软件　E. ROM

F. RAM　G. EPROM

问题 2

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

（1）中央处理装置也叫做处理器，它是由运算装置、（①）、寄存器、输入输出缓冲器组成。

（2）（②）是临时记忆存放数据的场所。

（3）（③）是为适应输入输出装置的时序而设置的暂时记忆存储场所。

（4）主记忆装置又叫（④）。

[答案集]

A. 输入输出缓冲器　B. 内存　C. 控制装置　D. 读写存储器

E. 寄存器

问题 3

从下面 B 集的 a ~ c 中选出与 A 集相应项有对应关系的项目。

A 集	B 集
① RAM	a. 称为算术逻辑运算器，能进行加减乘除等算术运算以及大小比较。
② ROM	b. 能够读出写入的存储器（随机存取存储器），电源切断后存储的内容随之消失。
③ ALU	c. 读出专用存储器（只读存储器），即使切断电源内容也不消失。

答　案　问题 1　①B　②C　③D　④F　⑤E　⑥A

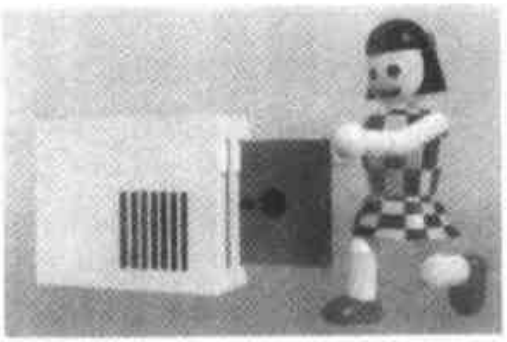
问题 2　①C　②E　③A　④B

问题 3　①B　②C　③A



（注）EPROM（erasable programmable 可擦可编程 ROM）是 ROM 的一种，能使用专用装置消去写入的内容，写入新的程序和数据。

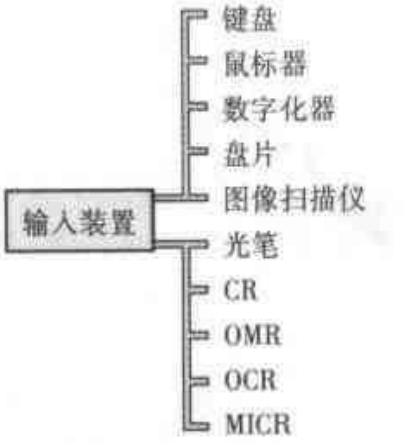
5 外部设备



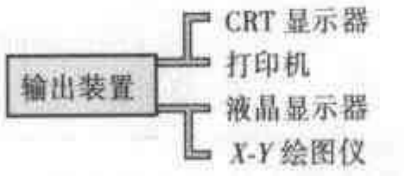
为让计算机工作，除计算机主机外还必需外部设备。外部设备指的是输入装置、输出装置以及外部存储装置。

输入装置是从外部将数据和程序等输入给计算机的装置。键盘就是典型的输入装置。

此外，还有鼠标器、数字化器、盘片、图像扫描仪、光笔、编码阅读器、卡片（磁卡）阅读装置 CR(Card Reader)、光学标记阅读器 OMR(Optical Mark Reader)、光学文字阅读器 OCR(Optical Character Reader)、磁印刷文字阅读器 MICR(Magnetic Ink Character Reader)等。



输出装置是用于将计算机主机处理得到的结果送出来，其代表装置有 CRT 显示器、打印机。此外还有液晶显示器、*X-Y* 绘图仪等。

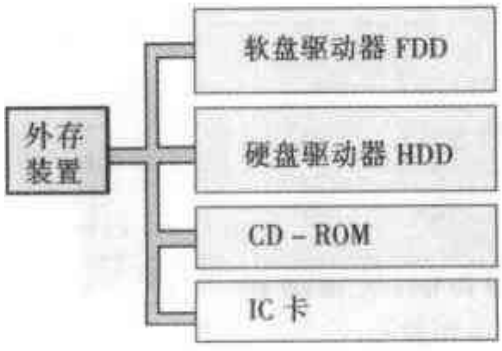


输入装置和输出装置统称输入输出装置 I/O(Input-Output unit)。

作为外部存储装置，可以举出：软盘装置 FDD(Floppy Disc Drive)，硬盘装置 HDD(Hard Disc Drive)、CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、IC 卡等。

所谓 IC(Integrated Circuit)，也称集成电路。IC 卡有内部只有存储的和既有存储还能进行计算处理的。

外存装置即前面已经讲过的辅助存储装置。处理大量数据时仅靠内存，容量有时不够。



有时希望另外存储数据。这时就使用辅助存储装置。通常辅助存储装置比主存储装置的容量大。

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

(1) 计算机除主机外，如果没有(①)也不能工作。

(2) 输入装置和输出装置统称(②)。

(3) 输入装置、输出装置和外存装置总称(③)。

(4) 外部存储装置亦称(④)。

(5) 从外部将数据和程序输入计算机的装置叫(⑤)。

(6) 将计算机主机处理得到的结果送出来的装置叫(⑥)。

[答案集]

A. 辅助存储装置　B. 外围设备　C. 输入输出装置　D. 输出装置

E. 输入装置

问题 2

从后面的答案集中选择与下述装置对应的装置名。

(1) 键盘(①)　(2) X-Y 绘图仪(②)　(3) 鼠标器(③)

(4) 打印机(④)　(5) 光笔(⑤)　(6) 盘片(⑥)

(7) OCR(⑦)　(8) OMR(⑧)　(9) FDD(⑨)

(10) HDD(⑩)　(11) IC 卡(⑪)　(12) 显示器(⑫)

[答案集]

A. 输入装置　B. 输出装置　C. 控制装置　D. 运算装置

E. 外部存储装置

问题 3

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句子的（ ）中。

(1) 将图和照片输入计算机的装置称作(①)。

(2) 作为计算机的典型输入装置，摁其文字、符号、数字键，可将数据及命令送入计算机主机的装置称为(②)。

(3) 能阅读卡片上铅笔涂过部分的装置称为(③)。

(4) 将磁粉涂在树脂圆盘上制成的辅助存储装置称为(④)。

(5) 对准显示器画面上的目标一摁，其坐标就能送入处理器的装置叫做(⑤)。

[答案集]

A. OMR　B. 键盘　C. FDD　D. 光笔　E. 图像扫描仪

答案 1　①B　②C　③B　④A　⑤E　⑥D

2　①A　②B　③A　④B　⑤A　⑥A

⑦A　⑧A　⑨E　⑩E　⑪E　⑫B

3　①E　②B　③A　④C　⑤D

(注)在速度、容量、可靠性等方面，HDD 优于 FDD。



6 数字的表达和计算(1)



1| 二进制数

在计算机的电子电路内，用诸如电压为5V作为"1"、电压为0V作为"0"的这样两个数来构成数据。用这个0和1来记述和计算数据的方法称为二进制法，二进制法中用的数叫做二进制数。

日常我们所用的数是十进制数。例如在十进制中，可把123作如下表示

$$123 = 1\times10^2 + 2\times10^1 + 3\times10^0$$

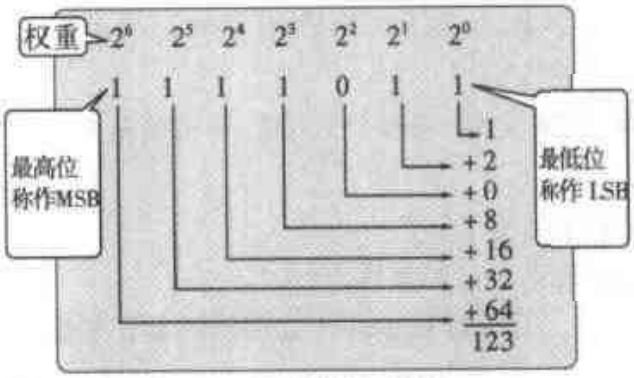
（权重　权重　权重）

同样，在二进制中则为：

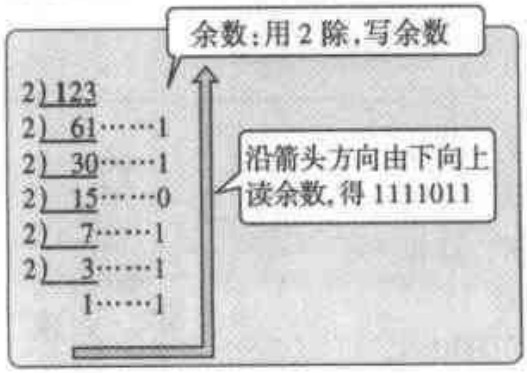
（权重　权重　权重　权重　权重　权重　权重）

$$1111011 = 1\times2^6 + 1\times2^5 + 1\times2^4 + 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 + 1\times2^0$$
$$= 64 + 32 + 16 + 8 + 0 + 2 + 1 = 123$$

2| 二进制数到十进制数的变换



3| 十进制数到二进制数的变换



4| 二进制数的加法

$0+0=0$　$0+1=1$

$1+0=1$

$1+1=10$　（读作1、0）

5| 二进制数的减法

$0-0=0$

$1-0=1$

$1-1=0$

$10-1=1$

6| 二进制数的乘法和除法

$0\times0=0$　$0\div1=0$

$0\times1=0$　$1\div1=1$

$1\times0=0$　$1\times1=1$

7| 位与字节

用0、1状态表示数据的单元称为位(bit)，8位为一个字节(byte)。

1101是4位。

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下式的（）中。注意$()_2$表示二进制数，$()_{10}$表示十进制数。

(1) $(1010)_2 = 1 \times (①) + 0 \times (②) + 1 \times (③) + 0 \times (④)$

(2) $(2345)_{10} = 2 \times (⑤) + 3 \times (⑥) + 4 \times (⑦) + 5 \times (⑧)$

[答案集]

A. 2^0　B. 2^1　C. 2^2　D. 2^3　E. 10^0　F. 10^1　G. 10^2　H. 10^3　I. 10^4

问题 2

将下面的二进制数变为十进制数。

(1) $(1010)_2 \rightarrow (①)_{10}$　(2) $(1100)_2 \rightarrow (②)_{10}$

(3) $(1110)_2 \rightarrow (③)_{10}$　(4) $(1111)_2 \rightarrow (④)_{10}$

(5) $(0101)_2 \rightarrow (⑤)_{10}$　(6) $(10101)_2 \rightarrow (⑥)_{10}$

(7) $(111010)_2 \rightarrow (⑦)_{10}$　(8) $(100001)_2 \rightarrow (⑧)_{10}$

问题 3

将下面的十进制数变为二进制数。

(1) $(8)_{10} \rightarrow (①)_2$　(2) $(16)_{10} \rightarrow (②)_2$

(3) $(38)_{10} \rightarrow (③)_2$　(4) $(77)_{10} \rightarrow (④)_2$

(5) $(90)_{10} \rightarrow (⑤)_2$　(6) $(123)_{10} \rightarrow (⑥)_2$

(7) $(159)_{10} \rightarrow (⑦)_2$　(8) $(180)_{10} \rightarrow (⑧)_2$

问题 4

进行下面的二进制数运算。

(1)
$$\begin{array}{r} 1\,0\,1\,0 \\ +\ 1\,1\,0\,0 \\ \hline (①) \end{array}$$

(2)
$$\begin{array}{r} 1\,1\,1\,0 \\ +\ 1\,1\,0\,1 \\ \hline (②) \end{array}$$

(3)
$$\begin{array}{r} 1\,0\,1\,0\,1 \\ +\ 1\,0\,1\,0\,1 \\ \hline (③) \end{array}$$

(4)
$$\begin{array}{r} 1\,1\,0\,1 \\ -\ 1\,0\,1\,0 \\ \hline (④) \end{array}$$

(5)
$$\begin{array}{r} 1\,0\,1 \\ \times\ \ 1\,1 \\ \hline (⑤) \end{array}$$

(6)
$$\begin{array}{r} (⑥) \\ 1\,0\overline{)\,1\,0\,1\,0} \end{array}$$

答案

1　①D　②C　③B　④A　⑤H　⑥G　⑦F　⑧E

2　①10　②12　③14　④15　⑤5　⑥21　⑦58　⑧33

3　①1000　②10000　③100110　④1001101

⑤1011010　⑥1111011　⑦10011111　⑧10110100

1　①10110　②11011　③101010　④11

⑤1111　⑥101



（注）MSB是most significant bit的缩写，称为最高位。

LSB是last significant bit的缩写，称为最低位。

7 数字的表达和计算(2)



1 十六进制数

计算机内部是以二进制进行计算的，但是用二进制数表示文字、符号及数字时，位数很多，人们难以明白。于是就出现了十六进制数。

十六进制是将二进制数每 4 位为一组断开，其数值用 0～9 和 A、B、C、D、E、F16 个数来表示的进制。如右表所示。

这里，A～F 并不意味是英文字母，而是分别表示数字 10、11、12、13、14、15。

例如，十六进制数 4AD 是这样的：

$$4AD = 4 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 13 \times 16^0$$

（权重　权重　权重）

10 进制数表示	2 进制数表示	16 进制数表示
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10

2 十六进制数到十进制数的变换

$$\begin{aligned} 4AD &= 4 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 13 \times 16^0 \\ &= 4 \times 256 + 10 \times 16 + 13 \times 1 \\ &= 1024 + 160 + 13 \\ &= 1197 \end{aligned}$$

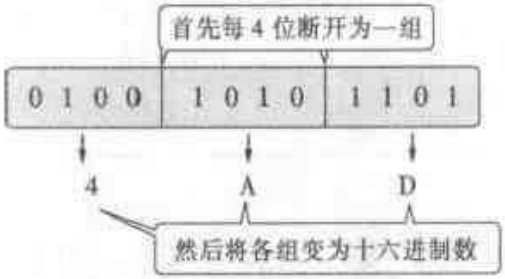
3 十进制数到十六进制数的变换

16)1197
16) 74……13
16) 4……10
0……4

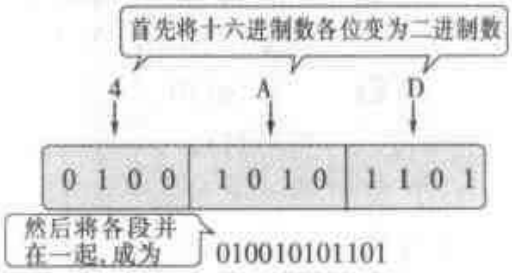
沿箭头方向从下向上读，为 4,10,13 = 4AD

十六进制数 A　十六进制数 D

4 二进制数到十六进制数的变换



5 十六进制数到二进制数的变换





问题 1

将以下十六进制数变为十进制数。其中$()_{16}$表示十六进制数。

(1) $(19)_{16}\rightarrow(①)_{10}$　(2) $(2E)_{16}\rightarrow(②)_{10}$

(3) $(A1)_{16}\rightarrow(③)_{10}$　(4) $(AB)_{16}\rightarrow(④)_{10}$

(5) $(32D)_{16}\rightarrow(⑤)_{10}$　(6) $(12F)_{16}\rightarrow(⑥)_{10}$

(7) $(EF5)_{16}\rightarrow(⑦)_{10}$　(8) $(1C45)_{16}\rightarrow(⑧)_{10}$

问题 2

将以下十进制数变为十六进制数。

(1) $(8)_{10}\rightarrow(①)_{16}$　(2) $(11)_{10}\rightarrow(②)_{16}$

(3) $(15)_{10}\rightarrow(③)_{16}$　(4) $(100)_{10}\rightarrow(④)_{16}$

(5) $(123)_{10}\rightarrow(⑤)_{16}$　(6) $(345)_{10}\rightarrow(⑥)_{16}$

(7) $(620)_{10}\rightarrow(⑦)_{16}$　(8) $(1180)_{10}\rightarrow(⑧)_{16}$

问题 3

将以下二进制数变为十六进制数。

(1) $(101001010010)_2\rightarrow(①)_{16}$

(2) $(1100100011101011)_2\rightarrow(②)_{16}$

(3) $(1000110111111001)_2\rightarrow(③)_{16}$

(4) $(1001101011000010)_2\rightarrow(④)_{16}$

(5) $(0111011011010111)_2\rightarrow(⑤)_{16}$

(6) $(1111111011011100)_2\rightarrow(⑥)_{16}$

提示：每 4 位分为一组，逐组变换。

问题 4

将以下十六进制数变为二进制数。

(1) $(1A)_{16}\rightarrow(①)_2$　(2) $(A8)_{16}\rightarrow(②)_2$

(3) $(BC)_{16}\rightarrow(③)_2$　(4) $(6F8)_{16}\rightarrow(④)_2$

(5) $(E92)_{16}\rightarrow(⑤)_2$　(6) $(DEF)_{16}\rightarrow(⑥)_2$

答　案

1　① 25　② 46　③ 161　④ 171　⑤ 813　⑥ 303　⑦ 3829　⑧ 7237

2　① 8　② B　③ F　④ 64　⑤ 7B　⑥ 159　⑦ 26C　⑧ 49C

3　① A52　② C8EB　③ 8DF9　④ 9AC2　⑤ 76D7　⑥ FEDC

4　① 00011010　② 10101000　③ 10111100　④ 011011111000　⑤ 111010010010　⑥ 110111101111



(注)进行十六进制→十进制变换时，可将其答案(十进制数)再变为十六进制数进行验算。

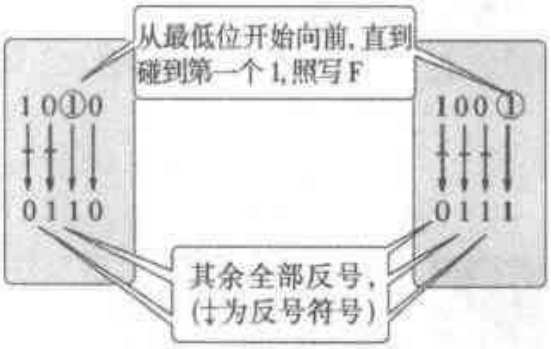
8 数字的表达和计算(3)



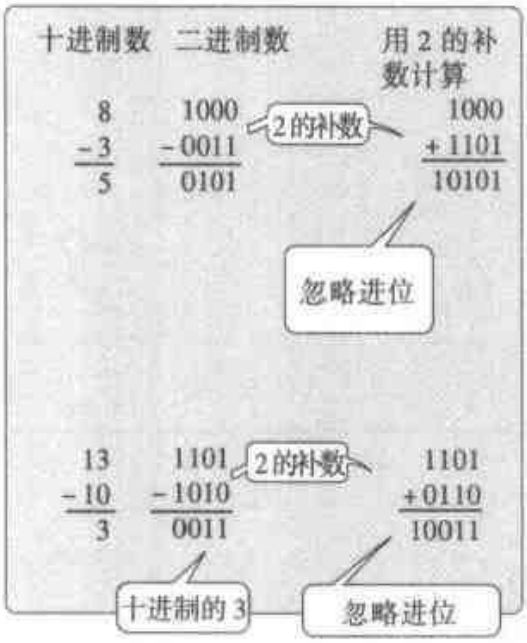
1 2的补数

例如,1010的2的补数为0110,1001的2的补数为0111。

2的补数的求法如图所示。



2 使用2的补数作减法



2的补数

十进制	二进制	2的补数	十进制
1	0001	1111	-1
2	0010	1110	-2
3	0011	1101	-3
4	0100	1100	-4
5	0101	1011	-5
6	0110	1010	-6

JIS文字编码表

$b_7b_6b_5b_4$ / $b_3b_2b_1b_0$	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000	功能文字		SP	0	@	P	`	p	未定义			ー	タ	ミ		未定义
0001			!	1	A	Q	a	q			。	ア	チ	ム		
0010			"	2	B	R	b	r			「	イ	ツ	メ		
0011			#	3	C	S	c	s			」	ウ	テ	モ		
0100			$	4	D	T	d	t			、	エ	ト	ヤ		
0101			%	5	E	U	e	u			・	オ	ナ	ユ		
0110			&	6	F	V	f	v			ヲ	カ	ニ	ヨ		
0111			'	7	G	W	g	w			ア	キ	ヌ	ラ		
1000			(	8	H	X	h	x			ィ	ク	ネ	リ		
1001			)	9	I	Y	i	y			ウ	ケ	ノ	ル		
1010			*	:	J	Z	j	z			エ	コ	ハ	レ		
1011			+	;	K	[	k	{			ォ	サ	ヒ	ロ		
1100			,	<	L	¥	l	\|			ャ	シ	フ	ワ		
1101			-	=	M	]	m	}			ュ	ス	ヘ	ン		
1110			.	>	N	^	n	~			ョ	セ	ホ	゛		
1111			/	?	O	_	o	DEL			ッ	ソ	マ	゜		

3 文字、符号、数字的表示方法

需要计算机处理的文字有英文大小写52个,数字以及符号等。JIS(日本工业标准)中文字用高4位和低4位编码表示(见"JIS文字编码表")。

例如,ア、A、9的表示为:

ア:$(B1)_{16}=(10110001)_2$

A:$(41)_{16}=(01000001)_2$

9:$(39)_{16}=(00111001)_2$

再如,$(11010000)_2$是ミ,$(01010000)_2$是P,$(00111101)_2$表示符号=。

JIS文字编码表中,高4位为$b_7b_6b_5b_4$,低4位为$b_3b_2b_1b_0$。



问题 1

下面的句子都是有关 2 的补数的。试从后面的答案集中选一适合的答案填入()中。

(1)$(1001)_2$ 的 2 的补数是(①)。

(2)为求 2 的补数,应从二进制数的最低位(②)开始向前,直到碰到的第 1 个(③)都照写,其后全部(④)即可。

[答案集]

A. 1010　B. 0101　C. 0111　D. MSB　E. LSB　F. 0　G. 1　H. 反号

问题 2

求下列二进制数的 2 的补数。

(1) $(0101)_2$→(①)　(2) $(0001)_2$→(②)

(3) $(0100)_2$→(③)　(4) $(1111)_2$→(④)

问题 3

下面显示的是用 2 的补数进行二进制数的减法计算的说明和计算过程,从后面的答案集中选一适合的答案填入()中。

(1) 为计算减法(1101 - 1010),首先求出减数 1010 的 2 的补数(①)。

(2) 然后,求被减数 1101 和上面求得的减数的 2 的补数之(②)。

(3)

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ -\ 1\ 0\ 1\ 0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ +\quad (③) \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1\ 1 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{忽略进位项的 1} \\ \text{答案为(④)} \end{array}$$

[答案集]

A. 1001　B. 1011　C. 0110　D. 和　E. 差　F. 0011　G. 1000

问题 4

用 2 的补数作下述二进制数的减法。

(1) 1001 - 0110 = (①)　(2) 1100 - 1001 = (②)

(3) 1110 - 1010 = (③)　(4) 1011 - 0001 = (④)

问题 5

用 JIS 文字编码表示下述文字和数字。

(1) Z→(①)　(2) 5→(②)

答案

1　①C　②E　③G　④H

1　①1011　②1111　③1100　④0001

1　①C　②D　③C　④F

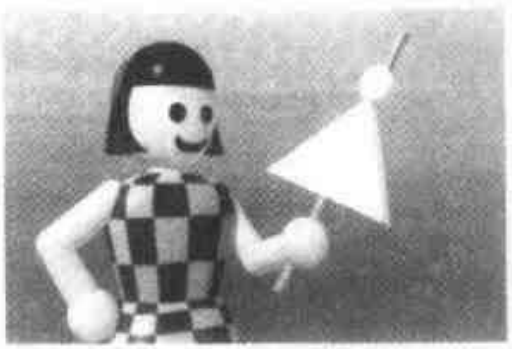
4　①0011　②0011　③0100　④1010

1　①01011010　②00110101

(注)减数大于被减数时,先计算(减数 - 被减数),再冠以负号。



逻辑电路基础(1)



计算机是根据1和0所表示的2值信号工作的。输入2值信号时输出为2值信号的电路称为逻辑电路。

基本的逻辑电路有“与”、“或”、“非”电路。此外还有“与非”、“或非”电路。

下表归纳了基本的逻辑电路。逻辑电路一般用MIL符号表示。

电路名	符号图	真值表	相应的灯电路
AND (逻辑积)	输入 A、B　输出 O 逻辑式 O = A · B	输入 A / B　输出 O 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	开关A,B都合上时,灯亮 A　B　灯
OR (逻辑和)	输入 A、B　输出 O 逻辑式 O = A · B	输入 A / B　输出 O 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	开关A,B,只要一个合上灯就亮 A　B　灯
NOT (非)	输入 A　输出 O 逻辑式 O = $\overline{A}$	输入 A　输出 O 0 1 1 0	开关A常闭,开关一旦动作,灯就灭 $\overline{A}$　灯

问题 1

给下列逻辑电路真值表的()中,填入 1 或 0,使表完成。并从后面的答案集中选择合适的逻辑式或电路名。

(1)

输入		输出
A	B	X
0	0	0
0	1	①
1	0	②
1	1	③

逻辑式(④)
电路名(⑤)

(2)

输入		输出
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	1
1	1	③

逻辑式(④)
电路名(⑤)

(3)

输入	输出
A	X
0	①
1	②

逻辑式(③)
电路名(④)

[答案集]

A. $X = A + B$　B. $X = \overline{A}$　C. $X = A \cdot B$　D. OR 电路

E. AND 电路　F. NOT 电路

问题 2

下面说的是电灯电路问题。从后面的答案集中选一适合的答案填入句中的()中。

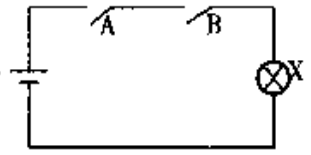
注意:以开关闭合状态作为 1,开启状态作为 0。而且灯亮为 1,灯灭为 0。

(1) 图 a 的电路,其逻辑电路名为(①),符号图为(②)。

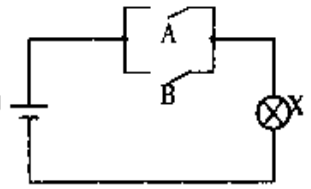
(2) 图 b 的电路,其逻辑电路名为(③),符号图为(④)。

(3) 图 a 的真值表为(⑤),图 b 的真值表为(⑥)。

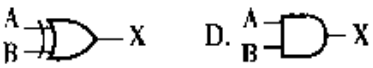
图(a)



图(b)



[答案集]

A. OR 电路　B. AND 电路　C. 

　D.

E. 

F.

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

G.

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



答案 1 (1) ①0 ②0 ③1 ④C ⑤E

(2) ①0 ②1 ③1 ④A ⑤D

(3) ①1 ②0 ③B ④F

2 ①B ②D ③A ④E ⑤G ⑥F

逻辑电路基础(2)



逻辑电路有 AND、OR、NOT、NAND 和 NOR 电路。下表归纳了 NAND 电路和 NOR 电路。

电路名	符号图	用 AND、OR、NOT 电路构成的电路	真值表
NAND（与非）	输入 A B 输出 O 逻辑式 $O=\overline{A\cdot B}$	中间输出 $C=A\cdot B$ A B C O	输入 A B；中间输出 C；输出 O 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0
NOR（或非）	输入 A B 输出 O 逻辑式 $O=\overline{A+B}$	中间输出 $C=A+B$ A B C O	输入 A B；中间输出 C；输出 O 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0

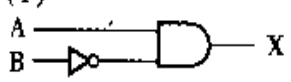
基本的逻辑电路，都可以只用与非（NAND）电路构成。而且也可以只用或非（NOR）电路构成。下表给出了用与非电路构成与、或、非各电路的例子。

电路名	符号图	仅用与非电路构成	说明
AND	A B O	C A B O	与电路是只有输入全为 1 时输出才为 1，其余皆为 0。与非电路的输入 A，B 为 1 时，C 为 0，因而最终输出为 1。输入为其他时和与电路结果相同。
O R	A B O	A C B C O	或电路是输入全为 0 时，输出为 0，其余为 1。与非电路的输入 A，B 为 0 时 C 同时为 1，因而输出为 0，其余情况和或电路结果相同
NOT	A O	A O	非电路是输入为 0 时输出为 1，输入为 1 时输出为 0。将与非电路的两输入短接，其结果和非电路相同。

问题 1

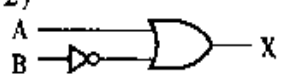
完成下列逻辑电路(1)～(9)的真值表。

(1)



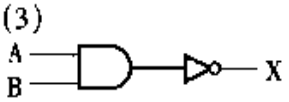
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(2)



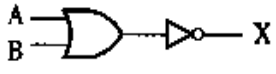
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(3)



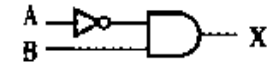
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(4)



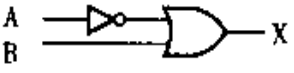
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(5)



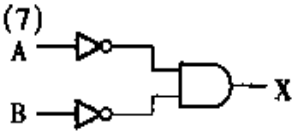
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(6)



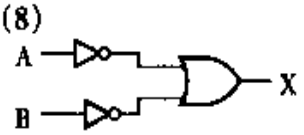
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(7)



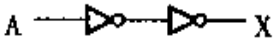
A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(8)



A	B	X
0	0	①
0	1	②
1	0	③
1	1	④

(9)



A	X
0	①
1	②

答 案 1

(1) ①0 ②0 ③1 ④0
(2) ①1 ②0 ③1 ④1
(3) ①1 ②1 ③1 ④0
(4) ①1 ②0 ③0 ④0
(5) ①0 ②1 ③0 ④0
(6) ①1 ②1 ③0 ④1
(7) ①1 ②0 ③0 ④0
(8) ①1 ②1 ③1 ④0
(9) ①0 ②1







（注）反复解题增加自信是最重要的。



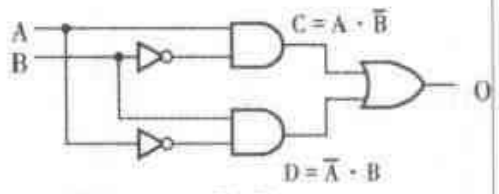
逻辑电路基础(3)



[1] 排他逻辑和电路(异或电路)

异或电路,只有当输入相互不同时输出才为1。即输入A为0、B为1(或者A为1、B为0)时输出为1。

下表对异或电路进行了归纳。

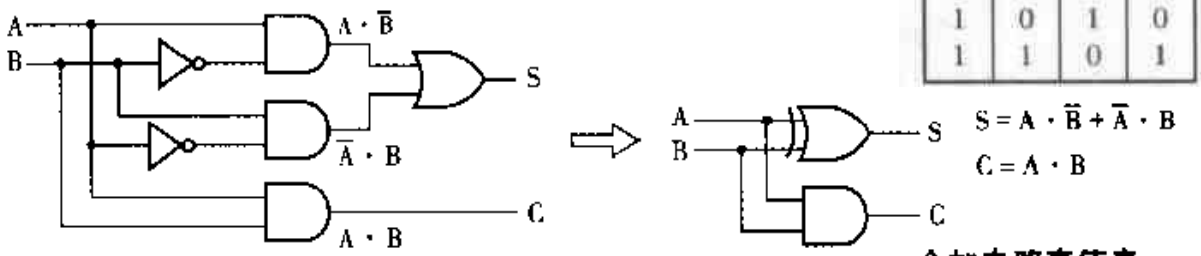
异或电路	符号图	真值表
 输出O=A·B̄+Ā·B		输入 A B / 中间输出 C D / 输出 O 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0

[2] 半加电路

半加电路是对1位二进制数作加法的逻辑电路。右表是半加电路的真值表,下图为半加电路。半加电路用异或电路表示时即成为极简单的电路。

半加电路真值表

输入 A	输入 B	输出 S	输出 C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1



$S=A\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot B$

$C=A\cdot B$

[3] 全加电路

二进制数的加法若考虑到来自低位的进位,输入就成为3个。有3个输入的加法,如真值表所示,就有8种加法。如果输入是3个,就可以完成包括进位的二进制数的加法。这样的电路称为全加电路。

全加电路真值表

输入 A	输入 B	输入 C	输出 S	输出 C_0
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

逻辑式

$$\begin{cases} S=\overline{A}\cdot B\cdot\overline{C}+A\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}+\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot B\cdot C \\ C_0=A\cdot B\cdot\overline{C}+\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot B\cdot C \\ \quad =A\cdot B(\overline{C}+C)+B\cdot C(\overline{A}+A)+A\cdot C(\overline{B}+B) \\ \quad =A\cdot B+B\cdot C+C\cdot A \end{cases}$$

问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句中的（ ）中。

(1) 输入为两个的逻辑电路，只有其输入相互不同时输出才为 1，这种电路叫做(①)。而且其符号图为(②)，真值表为(③)。

(2) 作一位二进制数加法的逻辑电路称为(①)，其真值表为(②)。

(3) 二进制数的加法，必须考虑来自低位的进位而成为三个输入，这种电路称为(①)。

[答案集]

A. 半加电路

B. 全加电路

C. 异或电路

D. 

E. 

F. 

G.

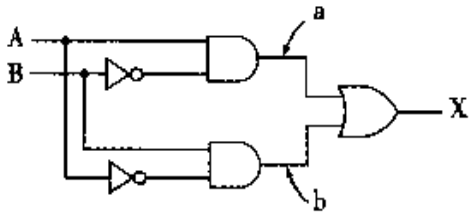
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

H.

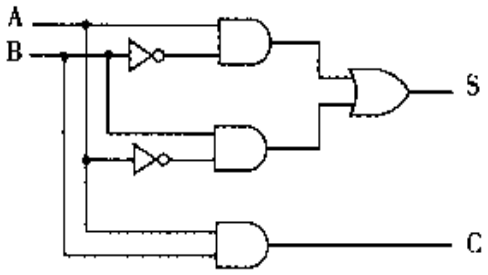
A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

问题 2

针对图 1、图 2，从后面的答案集中选一适合的答案，填入下面句中的（）中。



图(1)



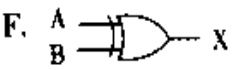
图(2)

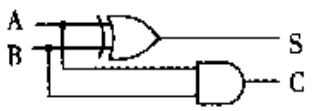
(1) 图 1 中，A = 1、B = 0 时中间输出 a 为(①)，b 为(②)。而 A = 0、B = 1 时中间输出 a 为(③)，b 为(④)。所以，当 A = 1、B = 0 以及 A = 0、B = 1 时输出 X 都是(⑤)，而 A = 1、B = 1 以及 A = 0、B = 0 时输出 X 为 0。这种只有输入相互不同时输出才为 1 的电路称为异或逻辑电路，符号图为(⑥)。

(2) 使用异或电路的符号图来表示图 2 即成为(①)。

[答案集]

A. 1　B. 0　C. 异或　D. 半加器　E. 全加器

F. 

G. 

答案 1 (1) ①C ②E ③G (2) ①A ②H (3) ①B

2 (1) ①A ②B ③B ④A ⑤A ⑥F

(2) ①G

12 编程步骤



1. 编程最主要的是分析问题，讨论解决问题的步骤。这个步骤就叫做算法或解法。

2. 用流程图表示解决问题所需的内容和步骤。

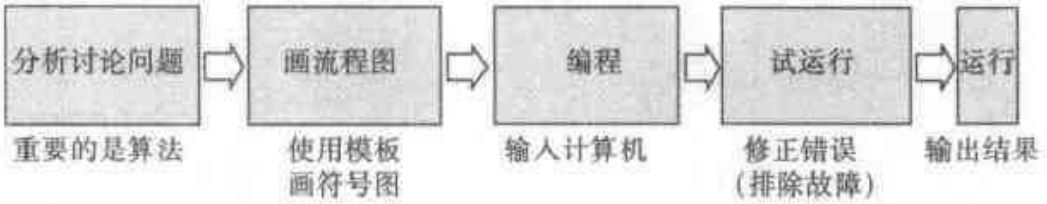
3. 将流程图表示的处理步骤按程序语言的语法写出来。叫做编程。

4. 编好的程序能否正常运行，要用试验数据实际运行一下看看。这叫试运行。

5. 试运行中语法有错时错误就会被指出，这种错误叫做故障，即使语法正确，处理步骤有误时也会出现错误的结果。这种错误叫逻辑错误。

6. 将上述内容总结归纳为下图所示的步骤。

7. 下表示出的流程图符号会经常使用。



表示未指定媒体的数据	一个入口有几个出口，根据符号中的条件选择一个出口	表示程序的开始和结束
表示所有的处理	表示同一流程图中向其他地方的出口或其他地方来的入口以及断线接入其他地方时。	表示循环的开始和终止，上图为起始端，下图为终止端。符号中写有初始化、增量和结束条件等
表示影响其后工作的准备	连接符号图，表示程序流向。要明示流向时再加上箭头	

问题 1

从后面的答案集中选择一适合的答案，填入下面句中的()中。

(1) 使用计算机处理数据时有必要讨论处理步骤，这个处理步骤叫做(①)。

(2) 程序复杂时，用图表示处理步骤很容易明白。用(②)来表示解决问题所需的内容和步骤。

(3) 按照程序语言的语法，书写流程图示出的处理步骤。这叫做(③)。

(4) 编好的程序能否正常运行，要用试验数据运行一下看看。这叫做(④)。

(5) 试运行中，如果语法有错，其错误就会被指出。

这一错误叫做(⑤)，修正这一错误叫做(⑥)。

[答案集]

A. 故障　B. 排除故障　C. 流程图　D. 编程　E. 算法　F. 试运行

问题 2

下面(1)～(7)所示的事项，用什么流程图符号表示为好？试从后面的答案集中选择。

(1) 反复处理

(2) 加减乘除计算

(3) 表示程序开始

(4) 读数

(5) 判断是否符合条件

(6) 连接符号

(7) 准备

[答案集]

A.　B.　C.　D.　E.

F.　G.　H.

问题 3

下面流程图符号使用正确的画○，错误的画×。

(1) 读数　(2) 开始　(3) 条件 No Yes　(4) 终止

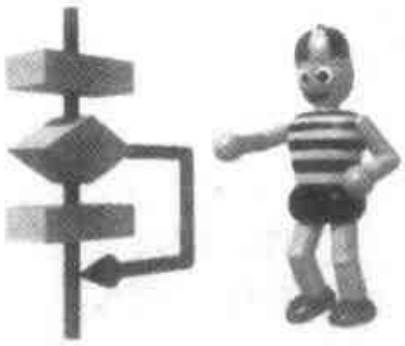
答案

1 ①E ②C ③D ④F ⑤A ⑥B

2 (1)E (2)B (3)H (4)A (5)G (6)D (7)F

3 (1)× (2)○ (3)○ (4)×

流程图基础



●作为解答问题的步骤，有时会逐条写出，有时会画成流程图(flow - chart)。使用流程图处理复杂问题表达严谨、理解直观。流程图的优点可以举出如下：

① 程序进行及处理的内容易于明白；

② 向他人说明程序方便；

③ 易于查找错误、修正错误、排除故障；

④ 易于直观理解算法。

●流程图的基本型式有直线型、分支型、循环型等。分支型亦称选择型、选择型又分单分支选择和双分支选择。直线型亦称顺序型。

●线是按从左到右，从上向下的处理顺序画的。不遵从此原则时必须加上箭头。

●处理符号中写的说明，使用符号等，表达简明易懂。

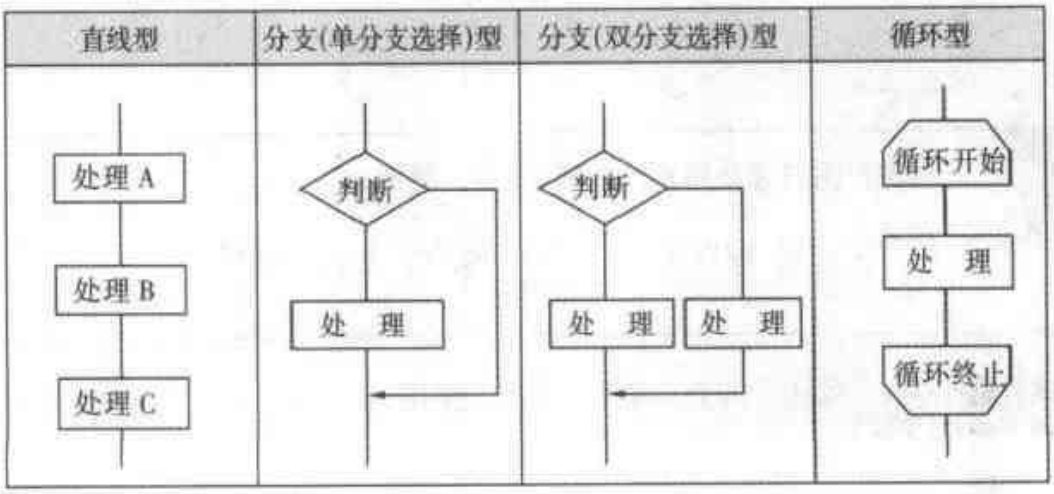
●符号图中写不下时，可将符号图放大。

●对于判断符号，条件满足时应进行的线旁写 Yes，条件不满足时应进行的线旁写 No。使用(:)表示比较时，要在应进行的线下写上符号(=，≠，< 等)。

●循环始端和循环终端符号用于循环处理。符号中间写上循环名称和终了条件。

●画线不要交叉。

流程图的基本类型



问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，将其填入下面句中的()中。

(1) 计算机处理问题时，有种方法是将要解决问题的处理步骤逐条写出来。但是，对于复杂问题，如果使用(①)就可以严格明确地进行表达。

(2) 流程图的基本类型有直线型、分支型和(②)。

(3) 分支型流程图也叫选择型。选择型有单分支选择和(③)选择。

(4) 分支型流程图中，通常(④)的符号图是必需的。

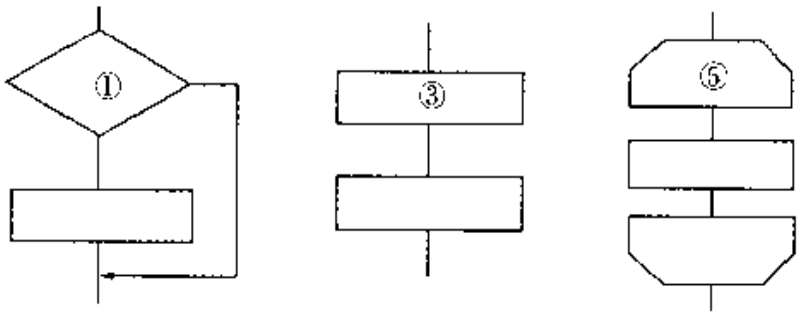
[答案集]

A. 判断　B. 处理　C. 循环型　D. 流程图　E. 多分支　F. 双分支

问题 2

下面示出了流程图的基本型式。从后面的答案集中选一适合的答案，将其填入符号图中，并选出基本型的名称。

(1) 名称(②)　(2) 名称(④)　(3) 名称(⑥)



[答案集]

A. 循环起始端　B. 处理　C. 判断　D. 循环型　E. 直线型　F. 分支型

问题 3

从后面的答案集中选一适合的答案，将其填入下面句中的()中。

(1) 流程图的线是从上向下、从左到右画的，不遵从此原则时要画(①)。

(2) 在循环起始端符号图中写有(②)等。

(3) 在处理符号中写说明，利用(③)等可使书写简洁。

[答案集]

A. 判断　B. 处理　C. 流程图　D. 循环名　E. 符号　F. 箭头



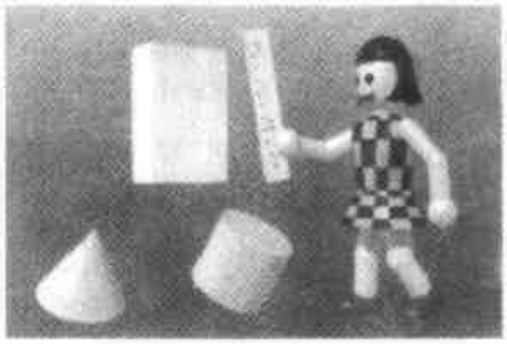
答　案

1　①D　②C　③F　④A

2　①C　②F　③B　④E　⑤A　⑥D

3　①F　②D　③E

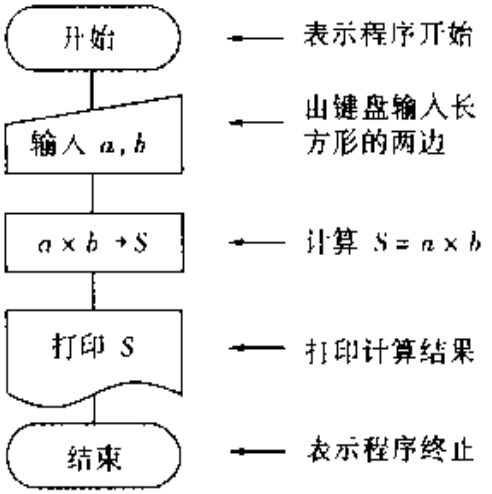
14 直线型流程图

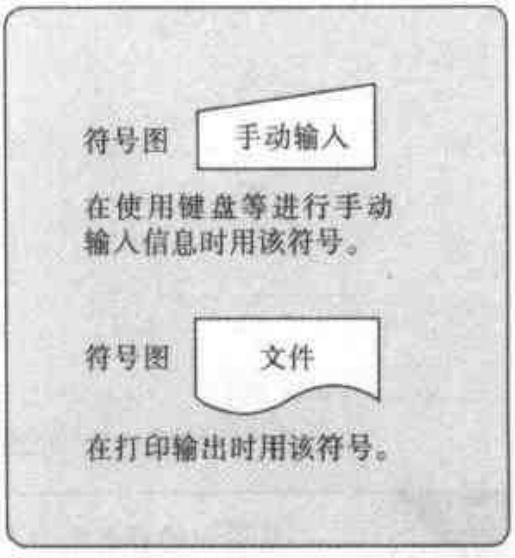


例题 1 读下面的句子，作流程图。

“读入长方形的两边 a、b，求面积 S，并打印计算结果”。

说明 按输入、处理、输出的顺序考虑流程图。





例题 2 读下面的句子，作流程图。

“由键盘读入底边长 l 和高 h，求面积 S，并打印计算结果”。

说明 流程图基本可用以下 3 段来表示：

A. 输入←读入数据；

B. 处理← 用读入的数据进行计算；

C. 输出←打印计算结算。

按上述事项作流程图，即为

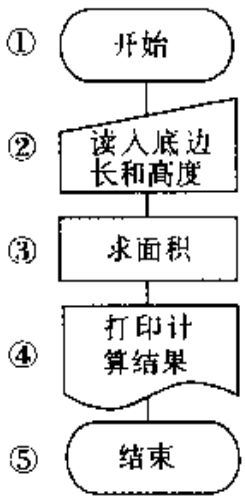
① 作为流程图最初的出发点，写上“开始”；

② 读入底边 l 和高度 h，在这里是用键盘输入；

③ 作为处理要在符号图中写出处理内容。这里要写：“求面积”；

④ 将③中求得的面积打印成文件。这里是用打印机输出；

⑤ 在流程图的最后，写上“结束”或“终了”。



问题 1

从后面的答案集中选一适合的答案，将其填入下面句子（1）~（4）各自的（ ）中。

（1）画求三角形面积的流程图时，首先读入底边和（①），其次计算（②），最后打印（③）、高度和面积。按这样的顺序即可完成流程图。读入底边等数据的符号图为（④），计算的符号图为⑤，而打印输出的符号图为（⑥）、

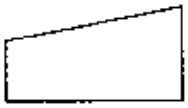
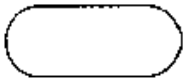
（2）在流程图的最初和最后，使用符号图为（①），其中要写（②）、（③）。

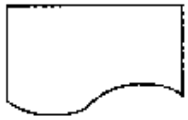
（3）符号图间用线连接，其线像要通过符号图（①）那样，各符号图的横向长度要作成（②）长度。

（4）画流程图时，可使用作为流程图用规的（①）。流程图的（②）未作特别规定。

[答案集]

A. 同一的　　B. 不同的　　C. 中间稍靠右　　D. 中央

E. 　F. 　G. 

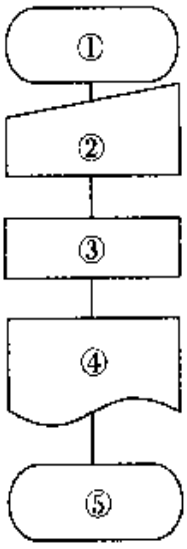
H. 　I. 高度　　J. 底边　　K. 模板

L. 大小　　M. 开始　　N. 结束　　O. 面积

问题 2

汽车以速度 60km/h 行驶 200km 需要多少时间？对此问题想作编程用的流程图。

从后面的答案集中选择适合的答案，将其填入流程图的①~⑤处。



[答案集]

A. 打印速度、距离和所需时间。

B. 进行“距离÷速度”计算。

C. 读入速度和距离值。

D. 结束。

E. 开始。

答　案　1　（1）　①I　②O　③J　④E　⑤G　⑥H

（2）　①F　②M　③N

（3）　①D　②A

（4）　①K　②L

2　①E　②C　③B　④A　⑤D



15 分支型流程图



例题 1 右边的流程图中，A = 100，B = 108 时，输出的数值是多少？而 A = B = 108 时，输出的数据又是多少？

解答 在判断符号图中，比较 A 和 B，A 小于 B 时，打印 B，故打印 108；而 A 和 B 都为 108 时，打印 108。

例题 2 对右边的流程图回答下述问题：

（1）A = 0 时，打印数值为何？

（2）A = 2 时，打印数值为何？

（3）A = −1 时，打印数值为何？

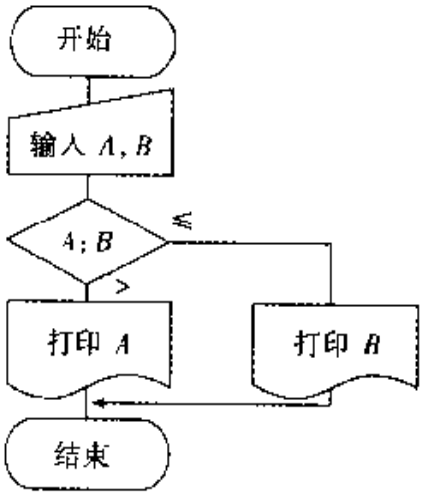
解答 在判断符号图中，A≤0 即 A 为 0 以下值时，需计算 A^3+8；A 不为 0 以下时，则打印原数值。故

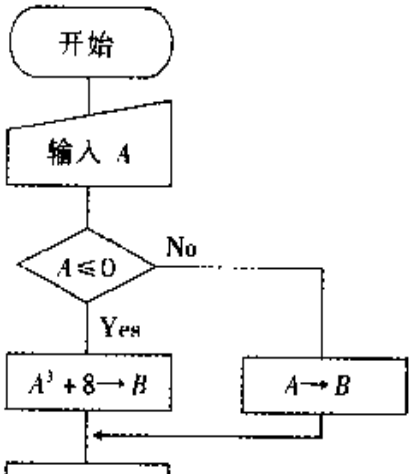
（1）打印 8（$0^3+8=8$）

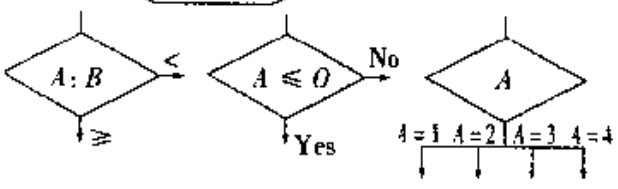
（2）打印 2（2→B）

（3）打印 7（$(-1)^3+8=7$）

关于判断符号：在此符号图中要书写判断内容，而在其出口处书写按判断分支的条件。A:B 指比较 A 与 B 并进行判断，按 A≥B 还是 A< B 分支。



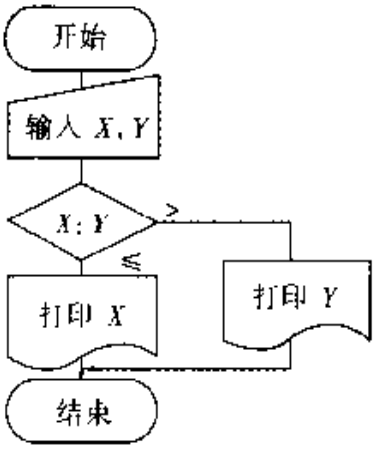




注：出口多时，按右图画

问题 1

右边的流程图中，X = 1010，Y = 1020 时打印数值为何？而 X = Y = 100 时，打印的数值又为何？



问题 2

下面的流程图符号中，符号图内书写的内容哪一个正确？正确的画○，错误的画×。

① 开始　② 输出　③ 条件

④ 计算　⑤ 打印　⑥ 读数据

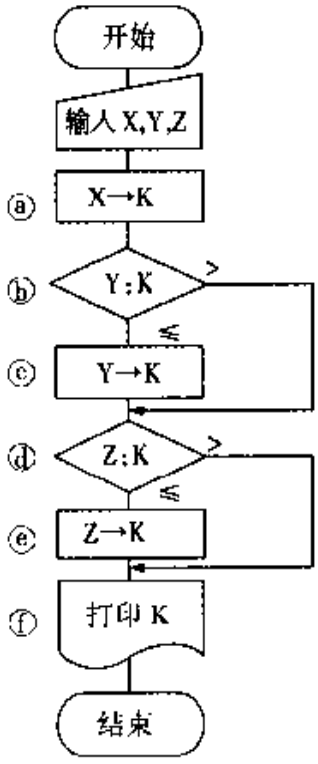
问题 3

右边的流程图中，设 X = 50，Y = 20，Z = 15，回答下述两个问题：

(1) 流程图的ⓐ～ⓕ各处 K 的数值如何？

(2) 该流程图是求 X、Y、Z 数值中的最()值。

上句的()中请填入适当的词语。



答　案　**1** 1010，100

2 ①　○　②×　③○　④×　⑤○　⑥○

3 (1)　ⓐ　50　ⓑ　50　ⓒ　20　ⓓ　20　ⓔ　15　ⓕ 15　(2)　小的

16 循环型流程图



右图（a）为进行循环处理时的流程图。这种循环处理若如图（b）那样就成为永无止境地进行这样的循环。因此，处理中要给条件，必须让循环结束。

右边的流程图是求从 1 到 100 的和，即 $S=1+2+3+\cdots+100$。$0\rightarrow S$ 表示将 0 代入 S，这称之为初始化。下边的循环中，N 逐一增加，每次增 1，其时 S 不断增加。从循环开始到循环结束，即进行了 $S=1+2+3+\cdots+100$ 的计算。

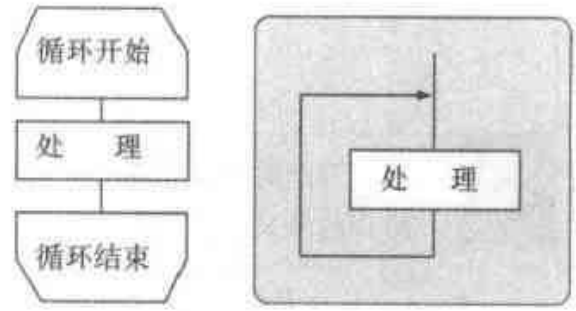
最后，打印总和 S。

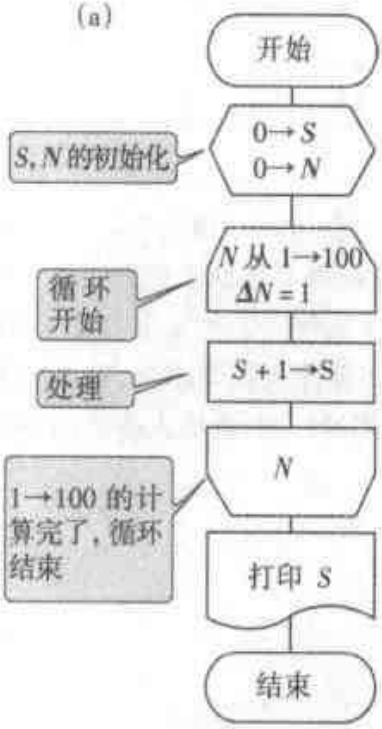
计算处理中，由于从 $N=1$ 开始，这个 1 就叫初值。每次增加 1，这个 1 叫增量。而增加到最后的 100 叫做上限。

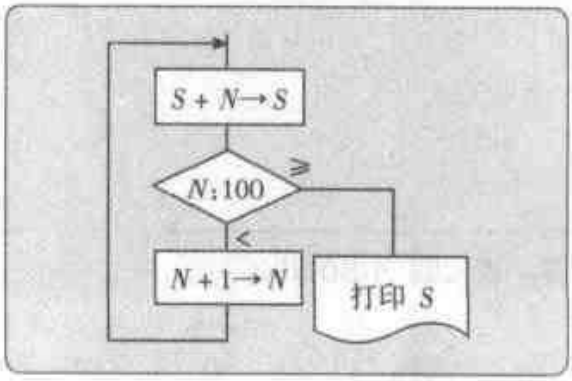
这个流程图的符号图中，也可以用处理符号□去代替准备符号⬭。

上述循环处理的循环符号，也可以写成右图那样。通常，流程图的流向是从上向下、从左到右。其他情况时要如图所示加上箭头。

流程图还有数据流程图、程序流程图和系统流程图等，国标中相应的都有规定。







问题 1

问题 2

问题 3

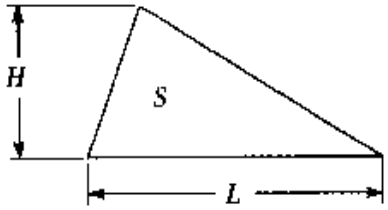


四则运算程序



1. 常数和变数

设高为 H，底边长为 L，则三角形的面积可表示为 S = L · H/2。这里，三角形不管多大，1/2 的 2 是不变的，这样的数叫做常数。



另一方面，高 H 和底边长 L 以及面积 S 都会随三角形的形状和大小而变化。H、L、S 叫做变数。

2 整数和实数的表示方法

数值有以下①～④四种表示方法：

① 整数的表示方法。例如：5，10，70，-5，-10，-70

② 实数的表示方法。例如：5.6，-7.8，0.2，-0.14

③ 用指数表示无小数点的数值。

例如：-5E+2　　9E-10

即 -5×10^{2}　　即 9×10^{-10}

④ 用指数表示有小数点的数值。

例如：3.5E3

即 3.5×10^{3}

⑤ 例如，下面计算的进行顺序为 a～d。

$$\left(5+\frac{x-3}{6}\right)\times y = (5+(x-3)/6)*y$$

a　b　c　d

3 算术运算符号和优先顺序

BASIC 中使用的算术运算式和我们平常使用的算式基本相同、但要注意下述的不同点：

① 括号[]、{}、()，全用()表示；

② 乘法符号 × 用 *，除法符号 ÷ 用 /；

③ 分式 $\frac{c}{a+5b}$ 写成一行，为 C/(a+5*b)。

BASIC 使用的算术运算符号

优先顺序	符　号	内　容	使　用　举　例
1	()	括号	(2+3) ⟶ (2+3)
2	^	乘幂，山形符号	3^2 ⟶ 3^2
3	*	乘法	2×3 ⟶ 2*3
	/	除法	2÷3 ⟶ 2/3
4	+	加法	2+3 ⟶ 2+3
	-	减法	2-3 ⟶ 2-3

问题 1

从后面的答案集中选出应填入下面句子()中的词、数和符号。

(1) 设梯形的上底为 X、下底为 Y、高为 H，则面积 $S=\frac{(x+y)H}{2}$，若用 BASIC 程序表示此面积，则为(①)。面积 S 的表达式中，2 叫做(②)，X、Y、H、S 叫做(③)。

(2) 作为数值，5、-10 是(①)，0.5，-10.3 是(②)。

(3) 在 BASIC 中，5×10^{2} 表示为(①)，6×10^{-3} 表示为(②)。

[答案集]

A. S=(X+Y)·H/2　B. S=(X+Y)*H/2

C. 整数　D. 变数　E. 实数　F. 常数

G. 5·E2　H. 5E2　I. 6·E-3　J. 6E-3

(注) 5×10^{2} 可表示为 5E+2 或略去 + 号为 5E2。

问题 2

对于下列式(1)式(2)，若用 BASIC 程序语言表达应是什么样的？从后面的答案集中选择合适的答案。

(1) (6A-5B)×3C　(2) $\frac{A-3}{(A+B)^{2}}$

[答案集]

A. (6A-5B)*3C　B. (6*A-5*B)*3*C

C. A-3/(A+B)^2　D. (A-3)/(A+B)^2

问题 3

对于 BASIC 运算式中的符号，将计算的先后顺序填入①~④中。

(1) ^ (①)　(2) *，/(②)

(3) ()(③)　(4) +，-(④)

问题 4

有关 BASIC 的数值表示方法，下边(1)~(5)中正确的画○，错误的画×。

(1) 95(①)　(2) 2E-3(②)

(3) 9,321(③)　(4) 3F2.5(④)

(5) -3.14E-2(⑤)

答案 1 (1) ①B ②F ③D

(2) ①C ②E (3) ①H ②J

2 (1)B (2)D

3 ①2 ②3 ③1 ④4

4 ①○ ②○ ③× ④× ⑤○



18 顺序执行型 BASIC 编程(1)



1 打印语句

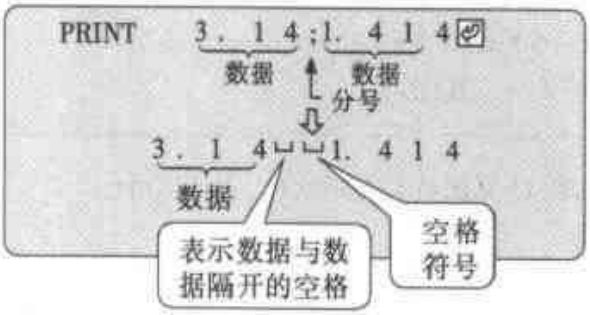
打印(PRINT)语句的格式表示如下：

```
PRINT 式,式,…
```

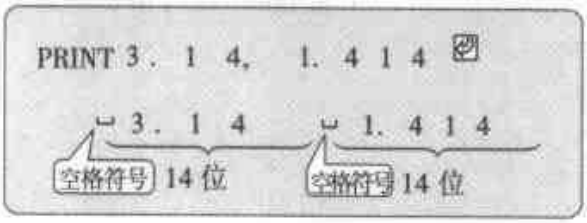
有好几个式子时，用分号“;”或逗号“,”隔开。但要注意符号不同表示方法也会不同。

打印语句中的式子，除数式外也可以是变量以及文字串。

① 式子和式子用分号隔开的表示为



②式子和式子用逗号隔开的表示为

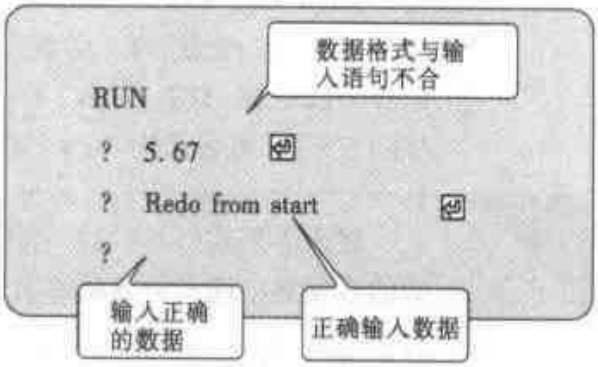


2 输入语句

下面是输入(INPUT)语句的格式。

```
INPUT 变量,变量,…
```

BASIC 程序执行 INPUT 语句时，显示“?”表示等待输入状态。因此，用键盘输入数据时可以多次执行此程序语句。



3 主要的数学函数

函　数	说　明
SQR(X)	$\sqrt{X}$，X 的平方根
ABS(X)	\|X\|，X 的绝对值
SIN(X) COS(X) TAN(X)	三角函数 X 的单位用弧度(rad)
LOG(X)	log,X,以 e 为底的 X 的自然对数
EXP(X)	e^x，以 e 为底的 X 的指数函数
INT(X)	不超过 X 的最大整数
RND	随机数

(注)PRINT 是让将指定的计算式的值以及文字串表示出来的命令。

写成 PRINT“文字列”就显示文字列，如果写成不带引号(")的算式，则显示算式的值。

```
PRINT“BASIC”↙→BASIC
PRINT  2+3↙→5
```

问题 1

关于打印语句，从后面的答案集中选择适合的答案填入下面句子的()中。

(1) PRINT 语句的格式为 PRINT(①), (①), …

(2) PRINT 语句中有两个以上的式子时，用符号(①)或(②)隔开。

(3) 如果写成 PRINT1.23;4.56 时，输出则为(①)，写成 1.23,4.56 时，输出为(②)。

(4) 打印语句中有两个式子时，第二式的输出的紧前边要设置(①)。

[答案集]

A. 数　B. 式　C. 句子　D. 分号　E. 冒号

F. 逗号　G. 1.23␣␣4.56　H. 1.23␣4.56　I. 空格符号

J. ␣1.23 ␣4.56　K. 1.23 4.56

14 位　14 位　14 位　14 位

问题 2

关于输入语句，从后面的答案集中选择合适的答案填入下面句子的()中。

(1) 输入语句的格式为 INPUT(①), (①), …

(2) 执行输入语句时会显示标记(①)，这表示等待(②)的状态。

(3) 由键盘输入数据执行输入语句时，可以(①)执行程序语句。

[答案集]

A. 式　B. 变量　C. 常数　D. !　E. ?

F. 输入　G. 输出　H. 仅两次　I. 多次

问题 3

从 B 集中选出与下述 A 集的数学函数相对应的说明。

[A 集]	[B 集]
(1) SQR(X)(①)	A. 随机数
(2) LOG(X)(②)	B. X 的单位为弧度，三角函数
(3) SIN(X)(③)	C. √X，X 的平方根
(4) EXP(X)(④)	D. 以 e 为底的 X 的自然对数
(5) RND (⑤)	F. 以 e 为底的 X 的指数函数

答案 问题 1 (1) ①B (2) ①D ②F (①F ②D 亦正确)
(3) ①G ②J (4) ①I

问题 2 (1) ①B (2) ①E ②F
(3) ①I

问题 3 ①C ②D ③B ④E ⑤A

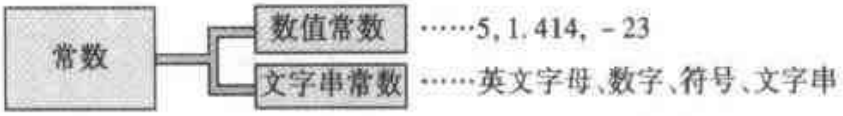


第16课 顺序执行型 BASIC 编程(2)

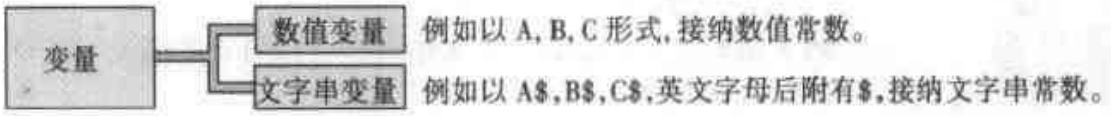


1 数值常数和文字串常数

如下所示,BASIC 的常数中有数值常数和文字串常数。

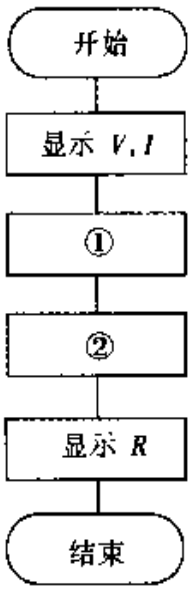


2 数值变量和文字串变量



例题 1 右边的程序和流程图是输入 V 和 I,使用欧姆定律 R = V/I 求电阻 R。

```
10 REM REIDAI - 1
20 PRINT "(③),(④)";
30 INPUT V; I
40 R = (⑤)/(⑥)
50 PRINT "R = "; (⑦)
60 END
```



在程序和流程图的()中填入适当的词语和符号。

解答 为显示电压 V 和电流 I,第 20 行的打印语句中要写上打印"V,I"。所以③→V,④→I。而第 30 行是输入 V、I,所以①→输入 V、I。又因为是 R 的计算处理,所以②→R = V/I,⑤→V,⑥→I。最后要显示 R 值,所以⑦→R。

例题 2 从键盘输入 X = 10, Y = 2, Z = 3,执行右边的程序,输出是多少?

```
10 REM REIDAI - 2
20 INPUT X; Y; Z
30 A = X * (Y + Z)
40 B = X/(Y + Z)
50 PRINT "A = "; A, "B = "; B
60 END
```

解答 $A = X * (Y + Z) = 10 \times (2 + 3) = 50$,

$$B = X/(Y + Z) = \frac{10}{2 + 3} = 2$$

问题 1

从后面的答案集中选择合适的答案，将其填入下面句子的()中。

(1) BASIC 程序使用的常数中，例如 3，－5.56 等叫做(①)，而符号、假名、英文字叫做(②)。

(2) 常数中有(①)和(②)。

(3) 变量中有(①)和(②)。

(4) BASIC 程序使用的变量中，例如 A、B、C，它接纳数值，称其为(①)，而 A$、B$、C$接纳文字串，称其为(②)。

[答案集]

A. 数字常数　B. 数值常数　C. 文字串常数

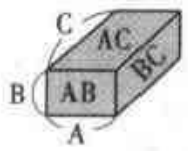
D. 文字常数　E. 数字变量　F. 数值变量

G. 文字串变量　H. 文字变量

问题 2

下边的程序为读取三条边 A、B、C 的长度，求长方体的表面积 S 并打印 A、B、C、S。在①～③处填入适当的内容。

```
10 INPUT A, B, C
20 S = 2 * (① + ② + ③)
30 PRINT A, B, C, S
40 END
```



问题 3

求执行右边的程序时输出的 Y、Z 的值。

```
10  W = 10
20  X = 20
30  Y = W + X
40  Z = W / X
50  PRINT  W, X, Y, Z
60  END
```

问题 4

右边的程序是求半径为 R，高为 H 的圆柱体的体积 V，并打印输出 R、H、V。填空完成该程序。

```
10  R = 5
20  H = 15
30  P = 3.14
40  (①)
50  (②)
60  END
```

答　案

1　(1)　①B　②C　(2)　①B　②C

(3)　①F　②G　(4)①F　②G

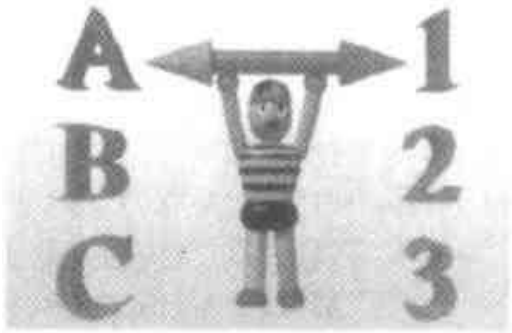
2　①A * B　②B * C　③A * C

3　Y = 30, Z = 0.5

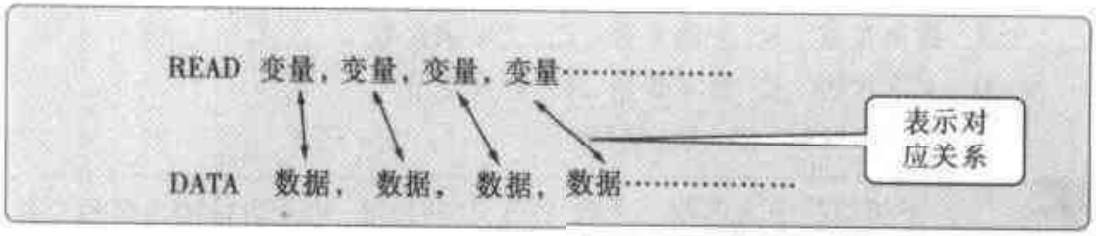
4　① V = P * R^2 * H　② PRINT R, H, V



30 READ-DATA 语句(1)



1 READ 语句和 DATA 语句的格式



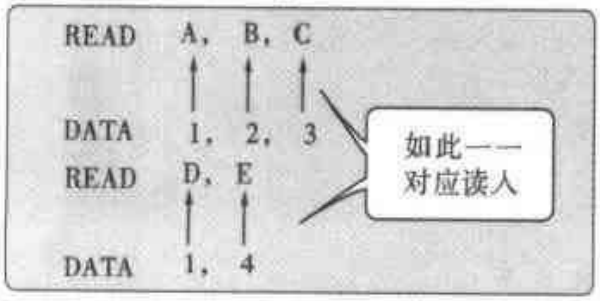
如此格式所示，READ 语句的变量的顺序和 DATA 语句的数据的顺序一一对应。有多个数据时，可将数据写入程序，然后逐一读出。

所以，使用 READ 语句时，必须用 DATA 语句设定数据。而且，DATA 语句什么处理也不作，所以放在程序哪个位置都没有关系。一般归纳写在程序中易于明白的地方。

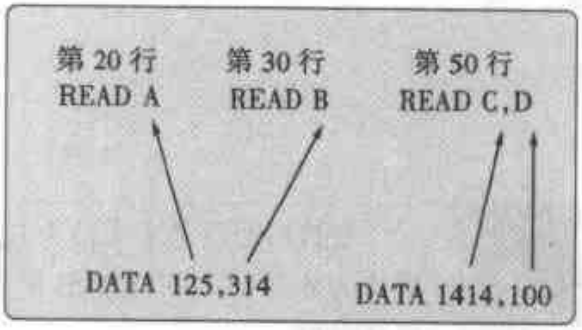
2 数据读入顺序

考察一下，下面程序中数据的读入顺序。

```
10 READ A,B,C
20 DATA 1,2,3
30 READ D,E
40 DATA 1,4
```




```
10 DATA 125,314
20 READ A
30 READ B
40 DATA 1414, 100
50 READ C,D
```



如上所示，各数据按箭头所示顺序读入。即使 READ 语句在 DATA 语句的前面，数据也是从前往后顺序读入给 READ 语句的各变量。

按 READ-DATA 语句输入数据时，数据的型式必须和 READ 语句中的变量相一致。即变量是数值变量时数据也是数值，变量是文字串变量时数据也必须是文字串。文字串变量像 A$那样，带有符号$。

问题 1

问题 2

星　期	一	二	三	四	五
记　号	MO	TU	WE	TH	FR
午餐费	500	600	400	550	450

问题 3

READ-DATA 语句(2)



1| RESTORT 语句的格式

行号 RESTORE (行号)

READ 语句是将 DATA 语句中的数据顺序读入给其变量，已经读过的数据不会再读。

但是，由于程序种类的不同，有时还想再次使用已经读过的同一数据，或想重复使用某一行的数据。这时就要使用 RESTORE 语句。

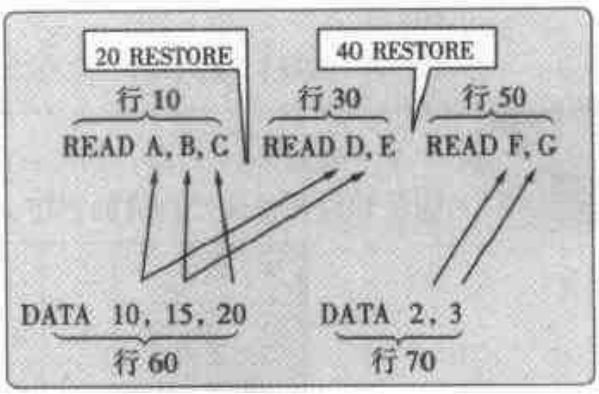
所谓 RESTORE 就是返回的意思，可以看作是程序进行中，读数顺序的返回。

RESTORE 语句格式中，(行号)可以有也可以省略。省略(行号)时，其后的 READ 语句与读数顺序完全没有关系，而是从最初的数据开始读入。

2| 数据读入顺序

考察一下下面这段程序的数据读入顺序。

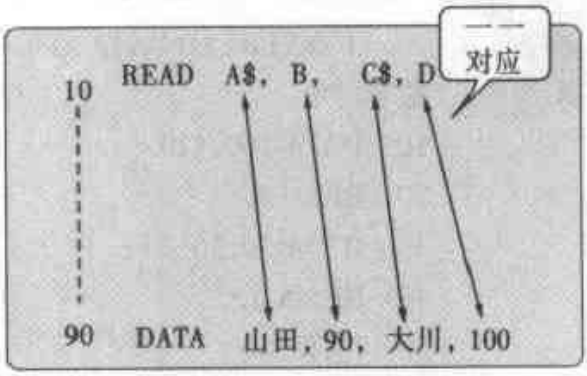
```
10  READ   A, B, C
20  RESTORE
30  READ   D, E
40  RESTORE
50  READ   F, G
60  DATA   10, 15, 20
70  DATA   2, 3
80  PRINT  A, B, C, D, E, F
90  END
```



3 文字串变量

数据不仅指数值，文字串也是数据。指文字串时，必须是带有符号$的文字串变量。

如下例所示，程序中的 READ 语句，也可以将文字串变量和数值变量混写。但要注意 READ 语句的变量和数据仍是一一对应的。



日本标准 JIS 中规定的数值变量和文字串变量的变量名如下：数值变量名用一个英文字母或英文字母后带一个数字表示，文字串变量名要带$。

问题 1

从后面的答案集中选择合适的答案，将其填入下面句子的()中。

(1) READ-DATA 语句是将 DATA 语句中的数据顺序读给 READ 语句中的变量。但是随着处理方法的不同，有时还想再次使用前面已经读过的数据。这时，使用(①)就很便利。

(2) RESTORE 语句后紧接的 READ 语句，与读数顺序无关，而是从(②)的数据开始读入。

(3) 文字串变量读取数据时，要带符号(③)来表示变量。

[答案集]

A. READ 语句　B. RESTORE 语句　C. 最初　D. 最后

E. ¥　F. $　G. #

问题 2

下面的 RESTORE 语句中，变量 A～G 分别对应哪个数据？将其填入()中。

```
10  READ A,B,C
20  RESTORE
30  READ D,E
40  PRINT A,B,C,D,E
50  RESTORE 80
60  READ F,G
70  DATA 50,60,70
80  DATA 80,90
```

A－(①)
B－(②)
C－(③)
D－(④)
E－(⑤)
F－(⑥)
G－(⑦)

问题 3

下面使用 RESTORE 语句的程序输出什么样的结果？从后面的答案集中选择。

```
10  READ A,X$
20  PRINT A; X$;
30  READ B,Y$
40  PRINT B; Y$;
50  RESTORE
60  READ C,Z$
70  PRINT  C; Z$;
80  DATA  1,大川
90  DATA  2,木村
100 DATA  3,山田
110 END
```

[答案集]

A. 1 大川　2. 木村　3. 山田　B. 1 大川　2. 木村　3. 大川



答　案

1　①B　②C　③F

2　①50　②60　③70　④50　⑤60　⑥80　⑦90

3　B

22 GOTO 语句



1| GOTO 语句的格式

```
行号 GOTO 语句 行号
```

一般的程序是按行号从小到大顺序执行。但是因程序的不同，有时想改变这一顺序。这时，使用 GOTO 语句指定行号就可改变执行流程。

改变执行流程的命令叫做控制语句。

2 GOTO 语句举例

下例为执行到 50 行时立刻跳到 90 行的打印语句，60～80 行的语句不执行。

这种向指定行的转移叫做“分支”。

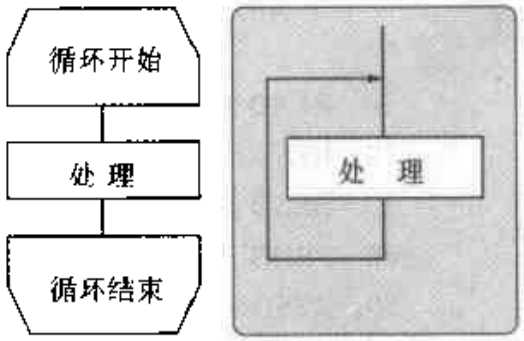
```
 ⋮
50  GOTO  90
60    ⋮
70    ⋮
80    ⋮
90  PRINT  A,B,C
```

该例是从 GOTO 语句的行号向更大行号分支。也可从 GOTO 语句的行号向更小的行号分支转移。

```
80  GOTO  40
```

3 循环处理

下面的图（a）、（b）为循环处理流程图。像图（b）的处理，直至按 STOP 键、BREAK 键，强行中断计算机前，处理一直继续。这样的程序叫做无限循环。



(a)　　(b)

4 GOTO 语句举例

```
10 INPUT  V1
20 V2 = 3.6 * V1
30 PRINT  V1, V2
40 GOTO  10
50 END
```

这段程序为第 10 行 INPUT 语句中由键盘输入 V1 的值，计算 V2 后，打印输出 V1、V2，由于要反复进行这种运算而使用了 GOTO 语句。

因条件不同改变处理内容叫做条件转移，而将处理转移到指定的行号则称为无条件转移。GOTO 语句为回到前面已执行过的行号，循环重复进行处理的无条件转移命令。

问题 1

下面的程序为输入语文、数学、英语的成绩，求总分和平均分。填空完成此程序。

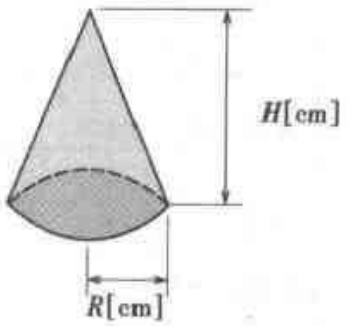
```
10  INPUT"语文成绩";K
20  INPUT"数学成绩";S
30  INPUT"英语成绩";E
40  G=0
50  H=0
60  G= [①]
70  H=(K+S+E) [②] [③]
80  PRINT"总分=";G
90  PRINT"平均分=";H
100 GOTO [④]
110 END
```

提示：总分为G，平均分为H。

问题 2

下面的程序为让圆锥的高度每增加1cm求其体积。填空完成此程序。这里，R为半径，H为高度，S为底面积，V为体积。

```
10  H=0
20  S=0
30  R=10
40  H= [①] +1
50  S=3.14*R^2
60  V=S* [②] / [③]
70  PRINT V
80  GOTO [④]
90  END
```



问题 3

从后面的答案集中选择适合的答案，将其填入下面句子的()中。

(1) GOTO语句可以指定(①)而改变执行的流程。

(2) 改变执行流程的命令叫做(②)。

[答案集]

A. 数值　B. 文字串　C. 行号　D. 控制语句　E. GOTO语句

答　案　1　①K+S+E　②/　③3　④10

2　①H　②H　③3　④40　3　①C　②D

(注) 执行问题2的程序时，显示器会不停地显示计算结果(无限循环)。

ON ~ GOTO 语句

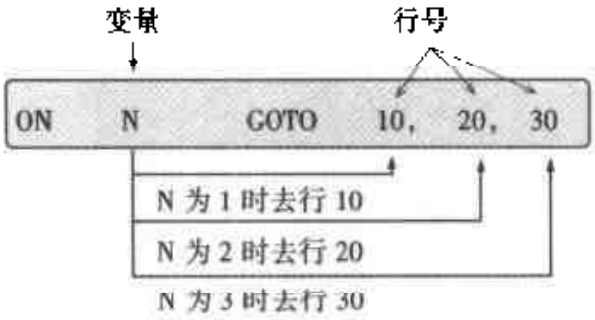


1 ON ~ GOTO 语句的格式

```
ON式(变量) GOTO 行号1,行号2,…
```

GOTO 语句是无条件转移至指定的行号，而 ON ~ GOTO 语句则是随给定的值改变处理内容时使用。

下图是变量 N 为 1 时处理第 10 行、N 为 2 时处理第 20 行、N 为 3 时处理第 30 行的例子。



2 ON ~ GOTO 语句举例

```
10  X=100
20  Y=200
30  Z=0
40  INPUT N
50  ON N GOTO 60,90,120
60  Z=X*Y
70  PRINT Z
80  GOTO 40
90  Z=X/Y
100 PRINT Z
110 GOTO 40
120 END
```

① ② ③

① N = 1 时，移向行 60，输出 Z 值(X * Y)。

② N = 2 时，移向行 90，输出 Z 值(X/Y)。

③ N = 3 时，移向行 120，结束。

例题 1

下面的程序为：N = 1 时求圆的面积，N = 2 时求球的面积，N = 3 时结束。填空完成此程序。

```
10  R=5
20  S=0
30  V=0
40  INPUT N
50  ON N [①], [②], [③],
        [④]
60  S=3.14*R^2
70  PRINT S
80  GOTO 40
90  V=4*3.14*R^2
100 [⑤] V
110 GOTO [⑥]
120 END
```

解　答　① GOTO　② 60　③ 90
④ 120　⑤ PRINT　⑥ 40

① N = 1 时，移向 60 行，打印输出圆的面积 $S=\pi R^2$。

② N = 2 时，移向 90 行，打印输出球的面积 $V=4\pi R^2$。

③ N = 3 时，移向 120 行，结束。

问题 1

下面句子是关于 ON ~ GOTO 语句的。请给句子的()中填入适当的数值或词语。

(1) 针对下面的 ON ~ GOTO 语句回答。

```
ON  X  GOTO  20,40,80
```

X 为 1 时,移向行(①),X 为 2 时,移向行(②),X 为 3 时,移向行(③)。

(2) GOTO 语句是无条件移向指定的行号,而 ON ~ GOTO 语句则是随给定的(①)移向指定的行号。

问题 2

下面的程序为 N = 1 时求 X、Y、Z 之和,N = 2 时求 X、Y、Z 之积,N = 3 时结束。填空完成此程序。

```
10  X = 10
20  Y = 20
30  Z = 30
40  S = 0
50  INPUT  N
60  ON  N  GOTO [①] , [②] , [③]
70  S = X + Y + Z
80  PRINT  S
90  S = [④]
100  PRINT  S
110  GOTO [   ]
120  END
```

问题 3

N = 1、N = 2、N = 3 时,下面程序执行后输出什么样的结果值?

```
10  X = 10
20  Y = 20
30  Z = 0
40  INPUT  N
50  ON  N  GOTO  60,90,120
60  Z = X + Y
70  PRINT  Z
80  GOTO  40
90  Z = Y - X
100  PRINT  Z
110  GOTO  40
120  END
```

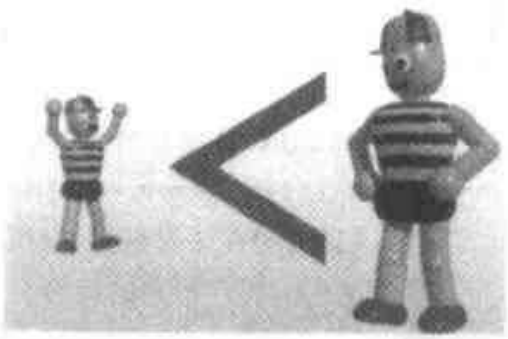
答 案 1 (1) ①20 ②40 ③80 (2)①数值

2 ①70 ②90 ③120 ④X * Y * Z ⑤50

3 N = 1 时 30,N = 2 时 10,N = 3 时结束

(注) ON ~ GOTO 语句是随式子或变量的取值不同,对应整数 1,2,3,…而转移的。行号按需要写多少个都可以。

24 IF ~ THEN 语句



1| IF ~ THEN 语句的格式

```
IF  比较式  THEN  行号(式)
```

ON ~ GOTO 语句中，根据条件 1，2，3，…而转移，这时是将条件当作固定值来考虑。能够自由设定条件的就是 IF ~ THEN 语句。

IF ~ THEN 语句的意思为："如果为某条件，则执行某行语句或某算式。其条件以比较式给出。

2 比较符号

比较符号用于比较式中。下表归纳了比较符号。

像 N> =20，变为 N = > 20，换一下 = 和> 的顺序亦可。亦可以写成 20 < = N。

3| IF ~ THEN 语句举例

下例为，N = 10 的比较式成立(N = 10)时，移向 60 行执行，不成立(N≠10)时则从下面的 50 行开始执行。

```
⋮
40  IF  N = 10  THEN  60
50  …
60  …
```

像下例使用文字串变量时要带上符号 $。这时，要判断代入到文字串变量的文字串是否为"RED"。如果成立则移向 70 行，不成立则从下行 60 开始执行。

```
⋮
50  IF  A$ = "RED"  THEN  70
60  …
70  …
```

像已经学过的那样，GOTO 语句是无条件转移，IF 语句是按条件指向目的的条件转移。如下面的格式所示，IF 语句也有写成 IF ~ THEN ~ ELSE 这种形式的。这是当条件不成立时要去执行写在 ELSE 语句后面的行号的命令。

```
IF  条件  THEN  行号  ELSE  行号
```

比较符号

比较符号	意　义	例	说　明
>	大于	N > 20	N 的值比 20 大
<	小于	N < 20	N 的值比 20 小
=	等于	N = 20	N 的值为 20
> =	大于等于	N > =20	N 的值比 20 大或相等
< =	小于等于	N < =20	N 的值比 20 小或相等
< >	不等于	N < > 20	N 的值不为 20

问题 1

下面的程序为：由键盘输入 1～9，显示其平方和立方，输入为 0 时处理结束。将适当的数值填入 [　　]，完成此程序。

```
10  INPUT  "N = ";N
20  IF  N = [ ① ] THEN  60
30  IF  N> = 1  AND  N <10  THEN [ ② ]
40  PRINT  N,N^2,N^3
50  GOTO [ ③ ]
60  END
```

提示　30 行的 AND 表示 N 大于 1 而小于 10。

问题 2

下面的程序为：输入两变量 X、Y，X 比 Y 大时求 X 与 Y 之差，X 比 Y 小时求 X 与 Y 之和。给 [　　] 中填入适当的数值完成此程序。

```
10  INPUT  X
20  INPUT  Y
30  Z = 0
40  IF  X> Y  THEN [ ① ]
50  Z = X + Y
55  PRINT  Z
60  GOTO [ ② ]
70  Z = X - Y
80  PRINT  Z
90  END
```

提示　如果 X> Y 成立转向(),不成立(X <= Y)时从 50 行开始执行。

问题 3

下面的程序执行后将得到什么结果？从答案集中选择。

```
10  N = 0
20  N = N + 1
30  N2 = N^2
40  PRINT  N,2 * N,N2
50  IF  N <10  THEN  20
60  END
```

[解答集]

①			②		
1	2	1	1	2	2
2	4	4	2	4	8
3	6	9	3	6	18
4	8	16	4	8	32
5	10	25	5	10	50
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	20	100	10	20	200

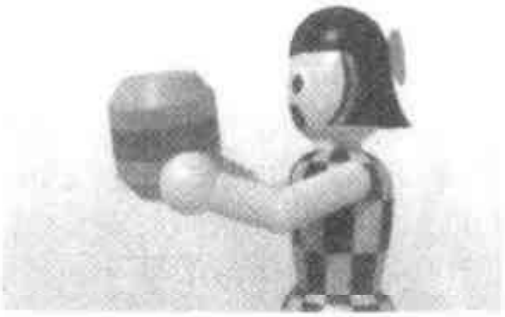
答　案　1　①0　②40　③10

2　①70　②10

3　①



FOR ~ NEXT 语句(1)



1. FOR ~ NEXT 语句的格式

多次重复同一处理时，使用 FOR ~ NEXT 语句很便利。这里使用的变量称为控制变量。

```
FOR  变量 = 初值  TO  终值  STEP  增量
 ⋮
NEXT  变量
```

控制变量从初值开始，一个循环结束时增加一个步长增量，反复执行 FOR 和 NEXT 语句直至终值。

2. FOR ~ NEXT 语句举例

```
10  FOR  X = 0  TO  9
20  PRINT  X;
30  NEXT  X
40  END
```

←变量为 X，初值为 0，终值为 9。
步长增量为 1 时，STEP 1 可省略。
←与 FOR 语句相呼应，必须写出 NEXT 语句。

该程序执行的结果为：

```
RUN ↵
0   1   2   3   4   5   6   7   8   9
```

3. FOR ~ NEXT 语句规则

① 以 FOR 语句开始，必须以 NEXT 语句结束；

② 需要重复进行的处理写在 FOR 语句和 NEXT 语句之间；

③ FOR 语句的变量要与 NEXT 语句的变量书写相同；

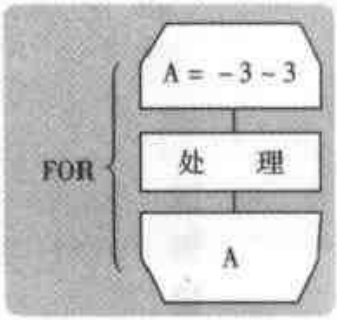
④ 步长增量为 1 时，STEP 语句可省略；

⑤ 始值、终值、步长增量可以是常数也可以是变量；

⑥ 始值、终值、步长增量可以为负值，也可以是小数；

```
10  FOR  A = -3  TO  3  STEP  0.5
```

```
10  FOR  A = 10  TO  1  STEP  -1
```



⑦ FOR ~ NEXT 语句的循环流程图如右图所示。在循环开始处写上变量的初值到终值，循环结束处写上变量名。

问题 1

下面 FOR ~ NEXT 语句,写法正确的画○,错误的画×。

(1) FOR A = 1 TO 25 STEP 2

(2) FOR B = 10 TO 2 STEP 2

(3) FOR C = 10 TO 2 STEP -2

(4) FOR D = 0.9 TO 0.1 STEP -0.2

(5) FOR E = 0.2 TO 1.2 STEP -0.2

(6)
```
FOR F = 1 TO 10
      ⋮
NEXT E
```

(7)
```
G = 6
H = 10
FOR I = G TO H
      ⋮
NEXT I
```

(8)
```
J = 5
K = 15
FOR L = J TO K
      ⋮
NEXT J
```

问题 2

针对下面的 FOR 语句,给()中填入适当的词语。

FOR A = 0.9 TO 1.9 STEP 0.1

这一 FOR 语句中的 A 叫做(①),0.9,1.9,0.1 分别叫做(②)、(③)、(④)。

问题 3

以下是关于 FOR ~ NEXT 语句的。从后面的答案集中选择适合的答案,将其填入()中。

(1) FOR 语句和 NEXT 语句之间写(①)。

(2) 步长增量为 1(STEP 1)时,(②)。

(3) 始值、终值、步长写成常数或(③)。

(4) 始值、终值、步长(④)负值。

(5) FOR 语句的变量和 NEXT 语句的变量要写成(⑤)。

(6) 下面的 FOR ~ NEXT 语句,是进行 1 ~ 10 的(⑥)。

```
FOR I = 1 TO 10
    J = J + I
NEXT I
```

[答案集]

A. 增量 B. 减量 C. 始值 D. 终值 E. 处理 F. 合计

G. 可省略 H. 变量 I. 不同的符号 J. 同一符号 K. 可以使用

答案 1 (1)○ (2)× (3)○ (4)○ (5)× (6)× (7)○ (8)×

2 ①变量 ②始值 ③终值 ④增量

3 ①E ②G ③H ④K ⑤J ⑥F

FOR ~ NEXT 语句(2)



1 嵌入

一个 FOR ~ NEXT 语句中，可以嵌入另一个 FOR ~ NEXT 语句。这称为二重循环。但是如下图错例所示的重复流程的交叉是不允许的。

(正确例)

```
FOR A=1 TO 9
  ⋮
  FOR B=1 TO 9
    ⋮
  NEXT B
    ⋮
NEXT A
```

(错误例)

```
FOR A=1 TO 9
  ⋮
  FOR B=1 TO 9
    ⋮
  NEXT A
    ⋮
NEXT B
```

不许交叉

2 FOR ~ NEXT 语句的简例说明

```
10 FOR A=2 TO 12 STEP 2
20 PRINT A
30 NEXT A
```

该程序的循环如下，重复 6 次：

①给变量 A 赋初值 2(1 次)，

②打印 A 值，

③给 A 值加 2，变为 4(2 次)，

次数	变量 A	A <=12(终值)
1	2	不超过终值(重复)
2	4	不超过终值(重复)
3	6	不超过终值(重复)
4	8	不超过终值(重复)
5	10	不超过终值(重复)
6	12	不超过终值(重复)
7	14	超过终值(出循环)

④打印 A 值，

⑤其后重复加 2 打印循环 (3，4，5，6 次)。每次重复时与终值比较，A 值不超过终值时循环继续，

⑥ A 值为 14 时，超过了终值，因而出循环(7 次)。

3 有两个 FOR ~ NEXT 语句的简单的例子

```
10 FOR X=1 TO 10
20   FOR Y=1 TO X
30     PRINT "*";
40   NEXT Y
50   PRINT
60 NEXT X
70 END
```

run

```
*
* *
* * *
* * * *
* * * * *
* * * * * *
* * * * * * *
* * * * * * * *
* * * * * * * * *
* * * * * * * * * *
```

该程序的执行结果如右图所示。必须注意有二个以上的 FOR ~ NEXT 语句时要作成镶嵌结构。

问题 1

从后面的答案集中选择下列各程序的执行结果。

程序①

```
10 FOR X=1 TO 9
20   PRINT X
30 NEXT X
40 END
```

程序②

```
10 FOR Y=1 TO 9 STEP 2
20   PRINT Y
30 NEXT Y
40 END
```

程序③

```
10 FOR Z=-9 TO 1
20   PRINT Z
30 NEXT Z
40 END
```

程序④

```
10 FOR W=9 TO 1 STEP -2
20   PRINT W
30 NEXT W
40 END
```

[答案集]

A. 1 2 3 4 5 6 7 8 9

B. 9 7 5 3 1 C. 1 3 5 7 9

D. -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -1 0 1

问题 2

写出执行下面程序时输出的结果。

```
10 I=0
20 FOR J=5 TO 18 STEP 2
30   I=I+J
40   PRINT I
50 NEXT J
60 END
```

问题 3

给下面有关 FOR～NEXT 语句的句子的()中，填入适当的词语，使其成为正确的句子。

(1) 有两个以上的 FOR～NEXT 语句时，必须做成(①)结构。

(2) 循环中嵌有另外的循环的结构叫做(②)循环。

问题 4

执行右面的程序，可以得到什么结果?

```
10 FOR X=1 TO 10 STEP 2
20   PRINT X,X*10
30 NEXT X
40 END
```

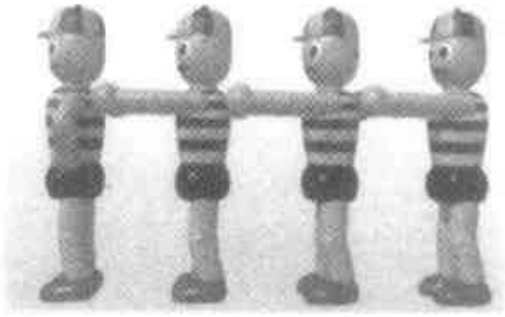
答案 1 ①A ②C ③D ④B

2 5 12 21 32 45 60 77

3 ①嵌入 ②二重

4 让 X 的值从 1 到 10 隔 2 变化，每次输出其值和其 10 倍值。

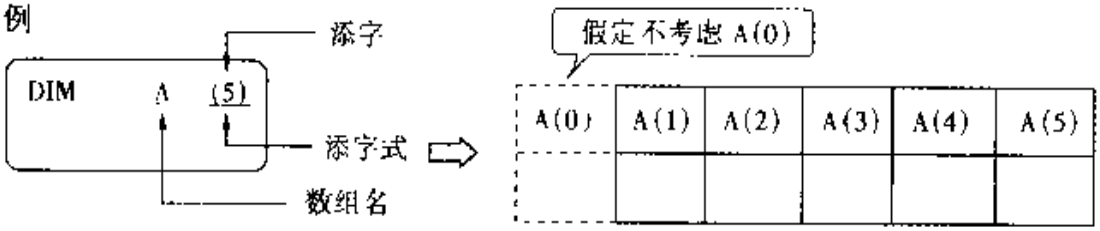
数 组



1 数组的格式

DIM 数组名(上限值),数组名(上限值),……

例



同类数据并列称为数组,构成数组的一个一个的存储空间叫做数组元素。像 A(5),括号中添一个字时称一维数组,而括号中添两个字时称二维数组。

DIM A(5)的 DIM 语句,是在存储器中用一维数组来确保存储空间的命令。使用数组时,必须根据 DIM 语句声明数组元素的上限值以确保存储空间。这种声明叫做数组声明。

2 DIM 语句举例

```
10  DIM  A(5)
20  FOR  B=1  TO  5
30    READ  A(B)
40  NEXT  B
50  PRINT "N=";
60  INPUT  N
70  PRINT  A(N)
80  DATA  100,200,300,400,500
90  END
```

←确保 A(1),…A(5)的存储空间

READ(1)
READ(2)
READ(3)
READ(4)
READ(5)

如果不用 FOR ~ NEXT 语句,就必须写这样的 READ 语句。

3 数组的处理顺序

使用数组时的处理顺序如下:

① 首先将数据读入数组;

② 然后使用读入的数据进行计算处理;

③ 最后输出结果。

问题 1

下面的程序是将 10 个数据读入并打印输出。填空完成此程序

```
10  DIM  X(10)
20  FOR  Y = 1  TO  10
30    READ [ ① ]
40    PRINT [ ② ]
50  NEXT [ ③ ]
60  DATA  10,20,30,40,50,60,70,80,90,1
70  END
```

问题 2

求下面使用 DIM 语句的程序的执行结果。

```
10  DIM  X(5)
20  Y = 0
30  FOR  Z = 1  TO  5
40    READ  X(Z)
50    Y = Y + X(Z)
60  NEXT  Z
70  S = Y/5
80  PRINT  Y;S
90  DATA  80,90,100,70,80
100  END
```

(提示)：考虑 Y = Y + X(Z)的意义。

70 行是将读入的 5 个数用 5 除。

问题 3

下面是与数组有关的句子。从后面的答案集中选择合适的答案，将其填入句子的()中。

(1) 同类数据并列叫做(①)。

(2) 构成数组的一个一个存储空间叫做(②)。

(3) 括号中添一个字的数组叫(③)，添两个字的数组叫(④)。

(4) DIM 语句，是在(⑤)中确保存储空间的命令。

(5) 对数组进行声明叫做(⑥)。

[答案集]

A. 数组元素　B. 数组声明　C. 一维数组　D. 二维数组

E. 数组　F. 数组处理　G. 存储器



答　案

1　① X(Y)　② X(Y)　③ Y

2　420,84

3　① E　② A　③ C　④ D　⑤ G　⑥ B

综合问题

1 从答案集中选择适当的词语填空。

(1) 使工厂中的生产工程自动化叫做 ① 。

(2) 使机关中的办公自动化叫做 ② 。

(3) 艾卡托等开发的计算机叫 ③ 。

(4) 使用计算机制图叫做 ④ 。

[答案集]

A. CAD　B. CAM　C. ENIAC　D. EDSAC

E. FA　F. OA　G. 神经计算机

2 从答案集中选择适当的词语填空。

(1) 读数装置称为 ① 。

(2) 存储计算结果的装置称为 ② 。

(3) 计算数据、做大小判断的装置称为 ③ 。

(4) 在显示器上显示运算内容、在打印机上打字的装置称为 ④ 。

(5) 协调计算机各装置工作的装置称为 ⑤ 。

[答案集]

A. 运算装置　B. 输入装置　C. 输出装置

D. 控制装置　E. 主存储装置

3 从后面的答案集中选择适当的词语填入下面装置后的[　　]中。

(1) 打印机 ①　(2) 键盘 ②

(3) 绘图仪 ③　(4) 鼠标器 ④　(5) OCR ⑤

[答案集]

A. 输入装置　B. 输出装置　C. 运算装置

D. 主存储装置　E. 控制装置

4 从答案集中选择适当的词语填入下面装置后的[　　]中。

(1) RAM ①　(2) ROM ②　(3) IC ③　(4) CAD/CAM ④

(5) I/O ⑤　(6) OMR ⑥　(7) OCR ⑦　(8) LSI ⑧

[答案集]

A. 光学文字阅读器　B. 光学标记阅读器　C. 集成电路

D. 只读存储器　E. 输入输出　F. 计算机辅助制造

G. 大规模集成电路　H. 随机存取存储器

5 将下面的十进制数转换为二进制数。

(1) 20 [①] (2) 80 [②] (3) 140 [③]

(4) 321 [④] (5) 622 [⑤]

6 将下面的二进制数转换为十进制数。

(1) 1101 [①] (2) 1001 [②] (3) 1111 [③]

(4) 101011 [④] (5) 10101011 [⑤]

7 将下面的十进制数转换为十六进制数。

(1) 11 [①] (2) 15 [②] (3) 123 [③]

(4) 893 [④] (5) 1234 [⑤]

8 将下面的十六进制数转换为十进制数。

(1) A [①] (2) 1D [②] (3) 103 [③]

(4) EA [④] (5) 37D [⑤]

9 做下面的二进制数运算。

(1) $\begin{array}{r} 1010 \\ +1101 \\ \hline ① \end{array}$ (2) $\begin{array}{r} 1101 \\ -0111 \\ \hline ② \end{array}$ (3) $\begin{array}{r} 1011 \\ \times 1101 \\ \hline ③ \end{array}$ (4) $\begin{array}{r} ④ \\ 110\overline{)11110} \end{array}$

10 从答案集中选择适当的词语填入下面句子的[]中。

(1) 仅使用 0 和 1 的计数方法叫 [①]，其数叫 [②]。

(2) 用 0 和 1 表示的信息的单位叫 [③]。

(3) 二进制数最左的一位叫 [④]，最右的一位叫 [⑤]。

(4) 信息的最小单位——二进制数的一位叫 [⑥]。

(5) 8bit 一起称为 [⑦]。

(6) 把文字、命令符号化称为 [⑧]。

(7) 1024 byte 叫做 [⑨]。

(8) 1024 k byte 叫做 [⑩]。

[答案集]

A. bit　B. 1bit　C. 1k byte　D. 1M byte　E. 二进制数

F. 二进制法　G. MSD　H. LSD　I. 1byte　J. 编码

11 从后面的答案集中选择与下面真值表对应的逻辑式及逻辑电路。这里A、B表示输入，X表示输出。

(1)

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

逻辑式(①)
逻辑电路(②)

(2)

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

逻辑式(①)
逻辑电路(②)

(3)

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

逻辑式(①)
逻辑电路(②)

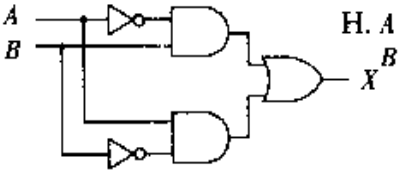
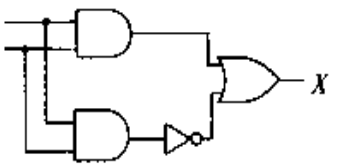
(4)

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

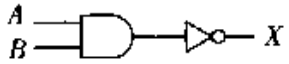
逻辑式(①)
逻辑电路(②)

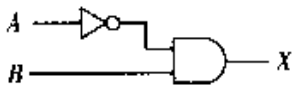
[答案集] A. $X=\overline{A}\cdot B+A\cdot\overline{B}$ B. $X=A+B$ C. $X=\overline{A\cdot B}+A\cdot B$

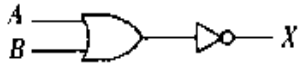
D. $X=A\cdot B$ E.  F. 

G.  H. 

12 从后面的答案集中选择下面逻辑电路的真值表。

(1) 

(2) 

(3) 

[答案集] A.

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

B.

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

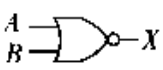
C.

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

13 从后面的答案集中选择与非电路和或非电路的符号图和真值表。

(1) 与非电路的符号图为(①)，真值表为(②)。

(2) 或非电路的符号图为(①)，真值表为(②)。

[答案集] A.  B.  C. 

D.

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

E.

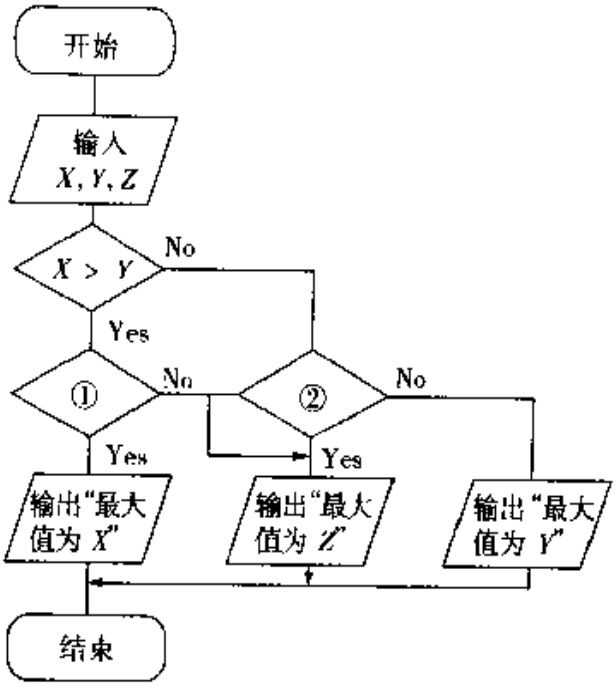
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

14 右边的流程图为：由键盘输入三个数X、Y、Z求其最大值。

从答案集中选择适当的答案填入符号图的①、②处。

[答案集]

A. X> Y	B. X> Z
C. Z> X	D. Y <Z



15 下面的程序是：当初速度为 $v_0 = 5\text{m/s}$、加速度为 $a = 3\text{m/s}^2$ 时，求 $t = 10\text{s}$ 后的速度 v 和运动过的距离 s。填空完成此程序。

<参考> $v = v_0 + at$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

```
10  VO = 5
20  A = 3
30  T = 10
40  V = [①]
50  S = [②]
60  PRINT  "a = ";A;"t = ";T;"VO = ";VO
70  PRINT  "v = ";[③];"s = ";[④]
```

16 求执行下面程序时的输出值。

(1)

```
10  A = 40
20  B = 10
30  U = A * B
40  V = A + B
50  W = A/B
60  X = U + V + W
70  Y = SQR(A/B)
80  Z = B - Y
90  PRINT  U,V,W,X,Y,Z
```

(2)

```
10  A = 1.8
20  B = 2.4
30  X = INT(A)
40  Y = INT(B)
50  Z = X + Y
60  PRINT  X, Y, Z
```

17 下面的程序为：读 5 个数 10、20、30、40、50，求平均值 H。填空完成该程序。

```
10  READ  A,B,C,D,E
20  H = (A + B + C + D + E) ①  ②
30  PRINT  "平均 = "; ③
40    ④  10,20,30,40,50
50  END
```

18 求运行下面程序时的输出值。

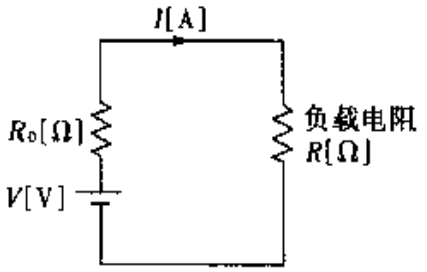
(1)

```
10  READ  A,B,C
20  X = A + B + C
30  Y = X/3
40  Z = A * B * C
50  PRINT  X,Y,Z
60  DATA  10,20,30
70  END
```

(2)

```
10  READ  A$,B$,C$
20  D$ = A$ + B$ + C$
30  PRINT  D$
40  DATA  "那是"
50  DATA  "高中的"
60  DATA  "大楼"
70  DATA  "学生"
80  END
```

19 下面的程序是求右边电路的电流。设电阻 $R_0 = 5\Omega$，电压 $V = 10V$，求负载电阻 R 按步长 1Ω 从 1Ω 变到 10Ω 时每次的电流 I 和电功率。填空完成该程序。




```
10  V = 10
20  RO = 5
30  FOR  R = 1  TO ①
40    I = V/(RO + R)
50    P = I^2 * R
60    PRINT R,I,P
70  NEXT ②
80  END
```

参考式

电流 $I = \dfrac{V}{R_0 + R}$

电功率 $P = I^2 R$

20 下面的程序为反复输入数值 A、B 求和。当 A 的输入为 0 时程序结束，填空完成此程序。

```
10  INPUT  A
20  IF  A=0  THEN  ①
30  INPUT  B
40  C=A+B
50  PRINT  A;"+";B;"=";C
60  ②  ③
70 END
```

21 求下面程序的运行结果。

```
10  DIM  X(6)
20  Y=0
30  FOR  Z=1 TO 6
40  READ  X(Z)
50  Y=Y+X(Z)
60  NEXT  Z
70  H=Y/6
80  PRINT  Y,H
90  END
100  DATA  90,85,95,70,80,75
```

22 下面的程序为：读 10 个数据，求其平均值和最大值并打印输出。设平均值为 H，最大值为 M，填空完成该程序。

```
10  M=0
20  FOR I=1 TO 10
30  ①  A
40  B=B+A
50  H=  ②
60  IF  A> M  THEN  M=A
70  ③  I
80  PRINT  H,M
90  DATA  10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
100  END
```



1 ①E ②F ③C ④A

2 ①B ②E ③A ④C ⑤D

3 ①B ②A ③B ④A ⑤A

4 ①H ②D ③C ④F ⑤E ⑥B ⑦A ⑧G

5 ①10100 ②1010000 ③10001100 ④101000001 ⑤1001101110

6 ①13 ②9 ③15 ④43 ⑤171

7 ①B ②F ③7B ④37D ⑤4D2

8 ①10 ②29 ③259 ④234 ⑤893

9 ①10111 ②110 ③10000010 ④101

10 ①F ②E ③A ④G ⑤H ⑥B ⑦I ⑧J ⑨C ⑩D

11 (1) ①D ②F (2) ①B ②E
(3) ①A ②G (4) ①C ②H

12 ①B ②C ③A

13 (1) ①B ②E (2) ①C ②D

14 ①B ②D

15 ①VO+A*T ②VO*T+A*T^2/2 ③V ④S

16 (1) U=400 V=50 W=4 X=454 Y=2 Z=8
(2) X=1 Y=2 Z=3

17 ①/ ②5 ③H ④DATA

18 (1) X=60 Y=20 Z=6000
(2) 那是高中的大楼

19 ①10 ②R

20 ①70 ②GOTO ③10

21 Y=495 H=82.5

22 ①READ ②B/10 ③NEXT



1 ①E ②F ③C ④A

2 ①B ②E ③A ④C ⑤D

3 ①B ②A ③B ④A ⑤A

4 ①H ②D ③C ④F ⑤E ⑥B ⑦A ⑧G

5 ①10100 ②1010000 ③10001100 ④101000001 ⑤1001101110

6 ①13 ②9 ③15 ④43 ⑤171

7 ①B ②F ③7B ④37D ⑤4D2

8 ①10 ②29 ③259 ④234 ⑤893

9 ①10111 ②110 ③10000010 ④101

10 ①F ②E ③A ④G ⑤H ⑥B ⑦I ⑧J ⑨C ⑩D

11 (1) ①D ②F (2) ①B ②E
(3) ①A ②G (4) ①C ②H

12 ①B ②C ③A

13 (1) ①B ②E (2) ①C ②D

14 ①B ②D

15 ①VO+A*T ②VO*T+A*T^2/2 ③V ④S

16 (1) U=400 V=50 W=4 X=454 Y=2 Z=8
(2) X=1 Y=2 Z=3

17 ①/ ②5 ③H ④DATA

18 (1) X=60 Y=20 Z=6000
(2) 那是高中的大楼

19 ①10 ②R

20 ①70 ②GOTO ③10

21 Y=495 H=82.5

22 ①READ ②B/10 ③NEXT



1 ①E ②F ③C ④A

2 ①B ②E ③A ④C ⑤D

3 ①B ②A ③B ④A ⑤A

4 ①H ②D ③C ④F ⑤E ⑥B ⑦A ⑧G

5 ①10100 ②1010000 ③10001100 ④101000001 ⑤1001101110

6 ①13 ②9 ③15 ④43 ⑤171

7 ①B ②F ③7B ④37D ⑤4D2

8 ①10 ②29 ③259 ④234 ⑤893

9 ①10111 ②110 ③10000010 ④101

10 ①F ②E ③A ④G ⑤H ⑥B ⑦I ⑧J ⑨C ⑩D

11 (1) ①D ②F (2) ①B ②E
(3) ①A ②G (4) ①C ②H

12 ①B ②C ③A

13 (1) ①B ②E (2) ①C ②D

14 ①B ②D

15 ①VO+A*T ②VO*T+A*T^2/2 ③V ④S

16 (1) U=400 V=50 W=4 X=454 Y=2 Z=8
(2) X=1 Y=2 Z=3

17 ①/ ②5 ③H ④DATA

18 (1) X=60 Y=20 Z=6000
(2) 那是高中的大楼

19 ①10 ②R

20 ①70 ②GOTO ③10

21 Y=495 H=82.5

22 ①READ ②B/10 ③NEXT



1 ①E ②F ③C ④A

2 ①B ②E ③A ④C ⑤D

3 ①B ②A ③B ④A ⑤A

4 ①H ②D ③C ④F ⑤E ⑥B ⑦A ⑧G

5 ①10100 ②1010000 ③10001100 ④101000001 ⑤1001101110

6 ①13 ②9 ③15 ④43 ⑤171

7 ①B ②F ③7B ④37D ⑤4D2

8 ①10 ②29 ③259 ④234 ⑤893

9 ①10111 ②110 ③10000010 ④101

10 ①F ②E ③A ④G ⑤H ⑥B ⑦I ⑧J ⑨C ⑩D

11 (1) ①D ②F (2) ①B ②E
(3) ①A ②G (4) ①C ②H

12 ①B ②C ③A

13 (1) ①B ②E (2) ①C ②D

14 ①B ②D

15 ①VO+A*T ②VO*T+A*T^2/2 ③V ④S

16 (1) U=400 V=50 W=4 X=454 Y=2 Z=8
(2) X=1 Y=2 Z=3

17 ①/ ②5 ③H ④DATA

18 (1) X=60 Y=20 Z=6000
(2) 那是高中的大楼

19 ①10 ②R

20 ①70 ②GOTO ③10

21 Y=495 H=82.5

22 ①READ ②B/10 ③NEXT



1 ①E ②F ③C ④A

2 ①B ②E ③A ④C ⑤D

3 ①B ②A ③B ④A ⑤A

4 ①H ②D ③C ④F ⑤E ⑥B ⑦A ⑧G

5 ①10100 ②1010000 ③10001100 ④101000001 ⑤1001101110

6 ①13 ②9 ③15 ④43 ⑤171

7 ①B ②F ③7B ④37D ⑤4D2

8 ①10 ②29 ③259 ④234 ⑤893

9 ①10111 ②110 ③10000010 ④101

10 ①F ②E ③A ④G ⑤H ⑥B ⑦I ⑧J ⑨C ⑩D

11 (1) ①D ②F (2) ①B ②E
(3) ①A ②G (4) ①C ②H

12 ①B ②C ③A

13 (1) ①B ②E (2) ①C ②D

14 ①B ②D

15 ①VO+A*T ②VO*T+A*T^2/2 ③V ④S

16 (1) U=400 V=50 W=4 X=454 Y=2 Z=8
(2) X=1 Y=2 Z=3

17 ①/ ②5 ③H ④DATA

18 (1) X=60 Y=20 Z=6000
(2) 那是高中的大楼

19 ①10 ②R

20 ①70 ②GOTO ③10

21 Y=495 H=82.5

22 ①READ ②B/10 ③NEXT